

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Strategie 3D tisku tiskárny EASY 3D MAKER

Strategy of 3D Printing Printers EASY 3D MAKER

Student:

Jan Ermis

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Ermis**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Strategie 3D tisku tiskárny EASY 3D MAKER**
Strategy of 3D Printing Printers EASY 3D MAKER
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky 3D tisku.
3. Tiskové strategie na dané 3D tiskárně.
4. Experimentální část, tisk typové součásti.
5. Zhodnocení a závěry.


Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] GIBSON, I, D ROSEN a B STUCKER. *Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing*. New York: Springer, c2010, xxii, 459 p. ISBN 1441911200.
[2] Virta, Mikael. *The Capabilities of the Fused Deposition Modeling Machine Ultimakes and its Adjusting for the Bio-medical Research Purposes*. Master of Science Thesis. Examiner: Minna Kellomäko. 2013. 107 p. Faculty of Engineering Sciences. Tampere University of Technology.
[3] Internetové zdroje www.3d-tisk.cz, www.3dhubs.com, <http://www.thingiverse.com>, aj.

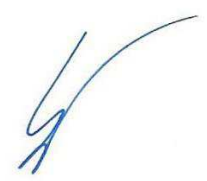
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015
Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrá, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30.4.2016

Jan Čermák
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 30.4.2016

.....
Jan Ermis
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Ermis

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hukvaldy 139

Anotace bakalářské práce

ERMIS, J. *Strategie 3D tisku tiskárny EASY3DMAKER: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, Vedoucí práce: Kratochvíl. J.

Tato bakalářská práce je zaměřena na nejčastější používané technologie 3D tisku a na strategie na tiskárně EASY3DMAKER. V první části je uvedený princip na jakém fungují jednotlivé technologie tisku. V další části jsou popsány dostupné strategie, popis tiskárny, tištěného modelu, programu G3DMAKER a samotný tisk stojanu na mobilní telefon.

Anotation of bachelor thesis

ERMIS, J. *Strategy of 3D Printing Printers EASY3DMAKER: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining, assembly and engineering metrology, 2016, Thesis supervisor: Kratochvíl. J.

The Bachelor thesis is focused on the most common used technology of 3D printing and a strategy for EASY3DMAKER printer. In the first part of the thesis is mentioned a working principle of the particular printing technology. The next part describes available strategies, discription of printer, printed model and G3DMAKER program and example of cell phone stand printing.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
1. Úvod	8
2. Teoretický rozbor problematiky 3D tisku	9
2.1 Postup výroby 3D součásti	9
2.2 Technologie 3D tisku	10
2.2.1 Fused Deposition Modeling (FMD)	11
2.2.2 Laminated Object Manufacturing (LOM)	12
2.2.3 Selective Laser Sintering (SLS)	13
2.2.4 Stereolithography (SLA)	14
2.2.5 Electron Beam Melting (EBM)	15
2.2.6 Multi – Jet Modeling (MJM)	17
3. Tiskové strategie na dané 3D tiskárně	18
3.1 Honeycomb	19
3.2 Concentric	20
3.3 Line	21
3.4 Hilbert Curve	21
3.5 Octagram Spiral	22
3.6 Rectilinear	22
3.7 Archimedean Chords	23
4. Experimentální část	24
4.1 3D Tiskárna – EASY3DMAKER	24
4.1.1 Parametry EASY3DMAKER	26
4.2 EASY3DMAKER tiskové materiály	26
4.2.1 PLA (Poly Lactid Acid)	27
4.2.2 ABS (Akrylonitril Butaien Styren)	28
4.3 Tištěný model	29
4.4 Software G3DMAKER	30

4.5	Tiskové pomůcky	32
4.6	Nastavení tiskárny	33
4.7	Příprava modelu k tisku	34
4.8	Tisk	37
4.8.1	Předběžný čas tisku	38
4.8.2	Skutečný čas tisku	39
4.9	Vizuální chyby na modelech	40
4.9.1	Plocha B	41
4.9.2	Plocha A	41
4.9.3	Plocha C	42
4.9.4	Vizuální chyby na modelech závěr	43
4.10	Problém tvaru výplně Honeycomb	43
5.	Závěr	45
	Seznam použité literatury	47
	Seznam obrázků	52
	Seznam příloh	54
	Příloha A – Výkres stojanu na mobilní telefon	55

Seznam použitých zkratk a symbolů

ABS	Akrylonitril Butaien Styren – termoplastický kopolymer
CAD	Computer Aided Design – 2D a 3D počítačové projektování
CD	Compact disc – kompaktní disk
COM	Communication port – komunikativní port
CNC	Compuredized Numerical Control – počítačové číslicové řízení
3D	Three – dimensional - Trojrozměrný
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
EBM	Electron Beam Melting
FDM	Fused Deposition Modeling – technologie 3D tisku
G-code	Programovací jazyk
IPT	Formát součásti v Inventoru
LOM	Laminated Object Manufacturing – vrstvení lepidivého materiálu
MJM	Multi-Jet Modeling – technologie nanášení termo polymeru
PC	Personal Computer – osobní počítač
PLA	Poly Lactid Acid – plast
SLA	Stereolitografie – selektivní laserové spékání
SLA-1	StereoLithographic apparatus number 1
SLS	Selective laser Sintering
STL	Standart Triangulance Language – formát souboru
USB	Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice
UV laser	Ultrafialový laser

1. Úvod

3D tisk je laické označení technologie, tzv. aditivní výroby, při níž vzniká výsledný produkt postupným nanášením stavebního materiálu po velmi tenkých vrstvách, které se vzájemně spojují např. tavením nebo lepením. Pomocí 3D tisku můžeme tisknout náročné tvary a konstrukce, které bychom nedosáhli pomocí jiných způsobů, např. konvenčních.[1]

Ve 21. století je čas výroby prototypů velmi důležitý. Z tohoto důvodu je téma 3D tisku neboli Rapid Prototyping velice aktuální. 3D tisk je také považován za opak konvenčních způsobů výroby, při kterých se odebírá materiál z polotovaru. U 3D tisku se materiál naopak přidává. V dnešní době se o této technologii hodně mluví. 3D tisk znamená rychlá a levná výroba testovacích kusů. Používá se v kusové a malosériové výrobě. Tato technologie nachází využití v mnoha oblastech, jako jsou stavebnictví, zdravotnictví, elektrotechnika, strojírenství a další oblasti průmyslu.

Řešená bakalářská práce se zaměřuje na použité strategie 3D tisku na tiskárně Easy3DMaker. Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány jednotlivé technologie 3D tisku. V praktické části se bude tisknout všemi dostupnými strategiemi, které tato tiskárna umožňuje. Bude hledána ta nejvýhodnější strategie k výrobě daného modelu z návrhu v počítači až do plastového modelu.

Model k tisku všech dostupných strategií na tiskárně Easy3DMaker bude popsán podrobně v praktické části. Jedná se o univerzální stojan na mobilní telefony popř. tablet.

2. Teoretický rozbor problematiky 3D tisku

3D tisk je technologie, která je známá teprve desítky let. Historie této technologie se píše od 2. poloviny 20. století. Tedy od roku 1986, kdy si ji Charless Hull nechal patentovat. Svoji technologii s názvem stereolitografie. Tento okamžik se považuje za zrod 3D tiskáren.

Stereolitografie je v podstatě laserový 3D tisk s využitím UV laseru a tekutého fotopolmeru. Charless Hull založil firmu s názvem 3D Systems. V této firmě vytvořil první aparát SLA-1 (StereoLitographic apparatus number 1). Tento aparát představoval 3D tiskárnu, byť se ještě v této době neoznačoval jako 3D tiskárna.

Aparát SLA-1 díky nedokonalosti a nepřesnosti použitých materiálů zapříčiňoval chyby a výsledky byly nesrovnatelné s dnešním 3D tiskem. SLA aparáty se staly základem pro rozvoj 3D tiskáren a také např. počítačově číslicově řízených obráběcích strojů (CNC). [2] [3]

2.1 Postup výroby 3D součástí

Existuje několik různých aditivních procesů, které jsou komerčně dostupné nebo se v současné době stále vyvíjí. Každý z těchto procesů používá různé materiály. Základní kroky jsou pro každou technologii stejné.

Tvorba CAD modelu

Pro všechny aditivní procesy se musí nejprve použít CAD (Computer- Aided Design) systém pro vytvoření 3D modelu součásti. Lze využít také 3D skeneru pro vytvoření modelu z již existujících součástí.

Převod modelu do STL formátu

Každý CAD systém ukládá geometrická data 3D modelu různými způsoby. Proto se musí převést model do formátu STL, což je jednotný formát 3D tisku, představující plochy 3D součásti jako sadu trojúhelníků.

“Rozřezání“ STL modelu do vrstev.

Díky specializovanému programu se kalibrují osy, nastaví se orientace a poloha součásti v tiskárně. Model se rozdělí na jednotlivé vrstvy v ose XY a každá následující vrstva se vytiskne kladným směrem v ose Z na předchozí. Výsledkem „rozřezání“ modelu je G-code.

Tisk součásti

G-code použije tiskárna pro pohyb tiskové hlavy a vrstvení materiálu na vrchol předchozí vrstvy. Technika tisku je však rozdílná od použité technologie a materiálu. Aditivní procesy používají papír, vosk, polymery, práškové kovy atd., jako materiál k tisku závislý od použité technologie.

Dodatečné zpracování součásti

Po vytištění součásti se odstraní podpěry, pokud byly potřeba. Výsledný povrch lze upravit broušením, lakováním nebo natíráním z důvodu zlepšení vizuálních vlastností a odolnosti.[4][5]

2.2 Technologie 3D tisku

Každá 3D tiskárna používá pro tisk 3D modelu jinou technologii výroby a jiný materiál tisku. Neexistuje jedno universální řešení vhodné pro všechny typy aplikací.

Všechna zařízení však pracují se stejným základním principem, což je rozložení počítačového modelu do tenkých vrstev a jejich vytvoření do modelu v pracovním prostoru tiskárny. Model je sestavován na základní desce, která se posouvá směrem dolů vždy o tloušťku nanesené vrstvy.

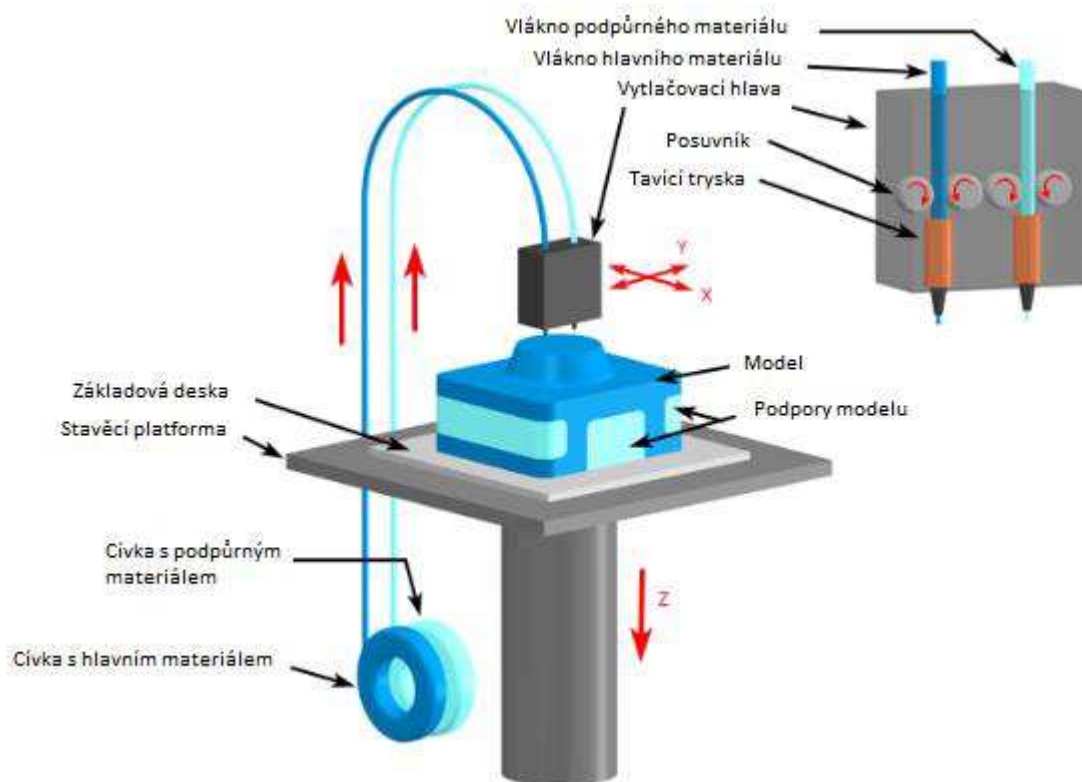
Dnešní doba nabízí asi 30 různých druhů technologie tisku. Každá firma se snaží vytvořit technologii, která bude mít vysokou přesnost. Dále se budu zabývat jen těmi nejrozšířenějšími, jako jsou FDM, LOM, SLS, SLA, EBM, MJM. Tyto technologie jsou popsány v následujících podkapitolách 2.2.1 – 2.2.6.[6][7]

2.2.1 Fused Deposition Modeling (FMD)

FDM (Fused Deposition Modeling) je v dnešní době jedna z nejvíce rozšířených metod 3D tisku. Tato metoda stála u zrodu levných 3D tiskáren, které jsou vhodné pro malé firmy a pro domácí užití. V roce 1989 si tuto technologii patentoval S.Scott Crump.

Při tisku technologií FDM (Obr. č. 1.) jsou materiály ve formě vláken, které se odvíjí z cívky a přivádí přes tavicí trysku. Tryska taví vlákna a vytlačuje je na základnu, někdy nazývanou jako (build) platforma nebo deska. Tryska i základna jsou ovládané počítačem, který předkládá rozměry objektu do X, Y a Z souřadnic. Souřadnice X a Y jsou důležité pro pohyb trysky. Po nanesení jedné vrstvy se platforma posune v souřadnicích Z směrem dolů ke stolu, aby vytvořila místo pro další nanášenou vrstvu. Tenké nanášené vrstvy chladnou a tvrdnou a vážou se na vrstvu pod ní.

Při tvarově složitějších modelech se používá navíc lehce odstranitelný (podpurný) materiál jako podpora, která se po tisku lehce odstraní.



Obrázek č. 1 – Schematické zobrazení Fused Deposition Modeling [10]

Tiskový čas je závislý na velikosti objektu, který má být vytvořen. Malé objekty velké několik centimetrů čtverečních se tisknou rychle a objekty s velkým obsahem nebo s geometricky složitějšími tvary se tisknou déle. V porovnání s ostatními metodami jako je SLA nebo SLS je proces FMD poměrně pomalý.

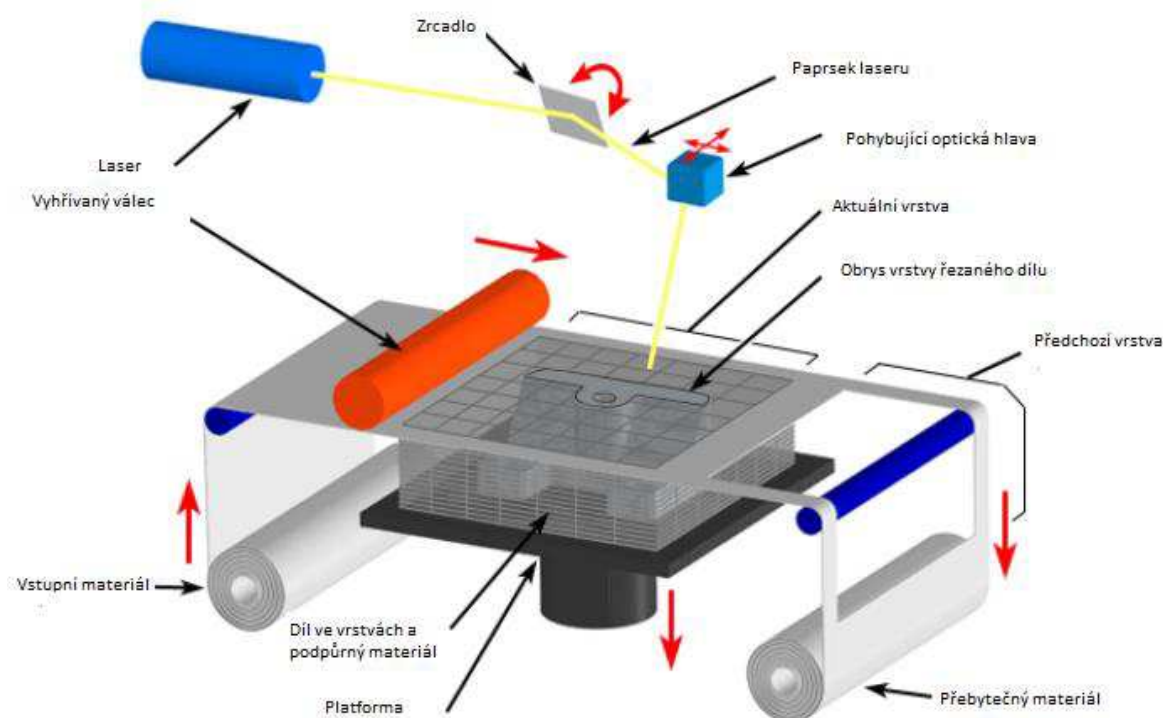
FDM je populární ve firmách různého průmyslového odvětví, od automobilového (BMW, Hyundai) po výrobu spotřebního zboží (Black and Decker). Tyto firmy používají tuto technologii v průběhu vývoje produktu, prototypování a výrobního procesu.

Nejpoužívanější tiskové materiály jsou ABS, PLA a další základní termoplasty. U profesionálních aplikací to může být např. termoplast typu Ultem.[8][9][10]

2.2.2 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Princip této technologie je velice jednoduchý a přesný. Do dějin se zapsal jako odrazový můstek pro nové ideje a uplatnění 3D tisku v průmyslu. V roce 1991 tuto technologii začínala dodávat firma Helis.

LOM (Obr. č. 2.) zařízení používá nepřetržitý list materiálu plast, papír nebo méně často kov. Tento list se odvíjí a je podáván přes sestavu podávacích válců. Papírové a plastové listy jsou často potaženy lepidlem. Pro vytvoření objektu přejede vyhřívaný válec přes list materiálu na sestavovací platformě, tavící lepidlo a tlak působený válcem propojí jednotlivé listy. Takto vytvořený profil je sledován pomocí optického systému pracující v ose X a Y.



Obrázek č. 2 – Schematické zobrazení Laminated Object Manufacturing[11]

Počítačem řízený laser následně řeže materiál do požadovaného tvaru. Laser řeže přebytečný materiál křížovým vzorem, což usnadňuje odstranění po vytištění celého modelu. Po řezu každé vrstvy se platforma sníží o tloušťku materiálu a druhý list je nanášen na předchozí vrstvu.

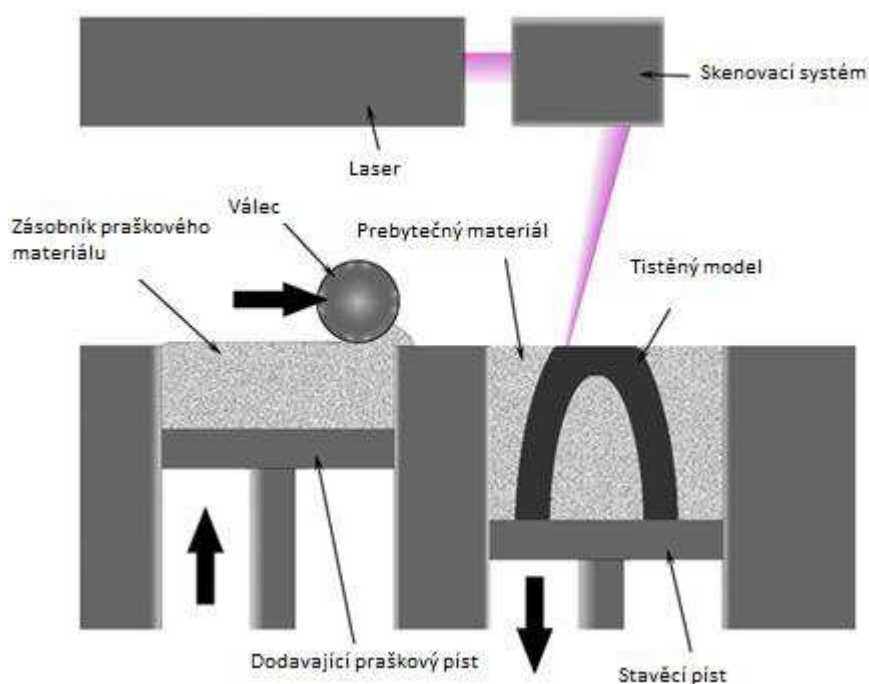
Výhoda této technologie je rychlost samotného stroje a relativně nízké náklady na materiál. Nevýhodou je velké množství odpadu, které vzniká po odřezání přebytečného materiálu u každé vrstvy. Tento odpad činí zhruba 50% použitého materiálu.

Modely vytištěné na tiskárně, která používá technologii LOM, jsou určeny převážně pro designové studie, architekturu a geografii.[12][13][14]

2.2.3 Selective Laser Sintering (SLS)

Selektivní laserové slinování je moderní výrobní technologie, která byla vytvořena v roce 1980 na universitě v Texasu. Vyvinuta Carlem Deckardem. Známa také jako „sintrování“.

Tato technologie využívá při tisku součástí materiál, jež je v základním stavu v práškové podobě. Prášky jsou z termoplastu nebo kovu. Nejpoužívanější je speciální práškový polyamid se skleněnou výplní nebo bez výplně. Pro zlepšení tavení prášku se udržuje tento materiál při zvýšené teplotě.



Obrázek č. 3 – Schematické zobrazení Selective Laser Sintering[15]

Slinování práškového materiálu je prováděno laserovým paprskem. Prášek se nanáší válcem nebo planžetou, který je přiváděn z dodávajícího pístu. Píst se pohybuje směrem nahoru a dodává prášek pro jednu vrstvu zhotovovaného modelu. Do vrstvy, která je nanesená na stavěcí desku se laserovým paprskem vykreslí řez modelu. Práškový materiál se nataví a slinuje. Poté se stavěcí píst posune směrem dolů o tloušťku následující vrstvy naneseného prášku. Tento postup se opakuje do vytvoření hotového modelu (Obr. č. 3.).

Použití této technologie je v automobilovém průmyslu při výrobě prototypů, které se používají často na tzv. crash-testy. Z důvodu blízkých vlastností např. vstříkovaným polyamidům. Další použití je ve strojírenském průmyslu a medicíně.

Výhodou této technologie je, že neslinovaný materiál obklopující model se dá znovu využít. Tato metoda také nevyžaduje jakýkoliv podpurný materiál. Modely jsou přesné, ale provozní a pořizovací náklady jsou vysoké.

Nevýhody, které tato technologie sebou přináší, jsou nebezpečí výbuchu práškového materiálu. Prášky jsou také toxické pro vdechnutí. Není také možno tisknout prázdné uzavřené dutiny.[16][17][18][19]

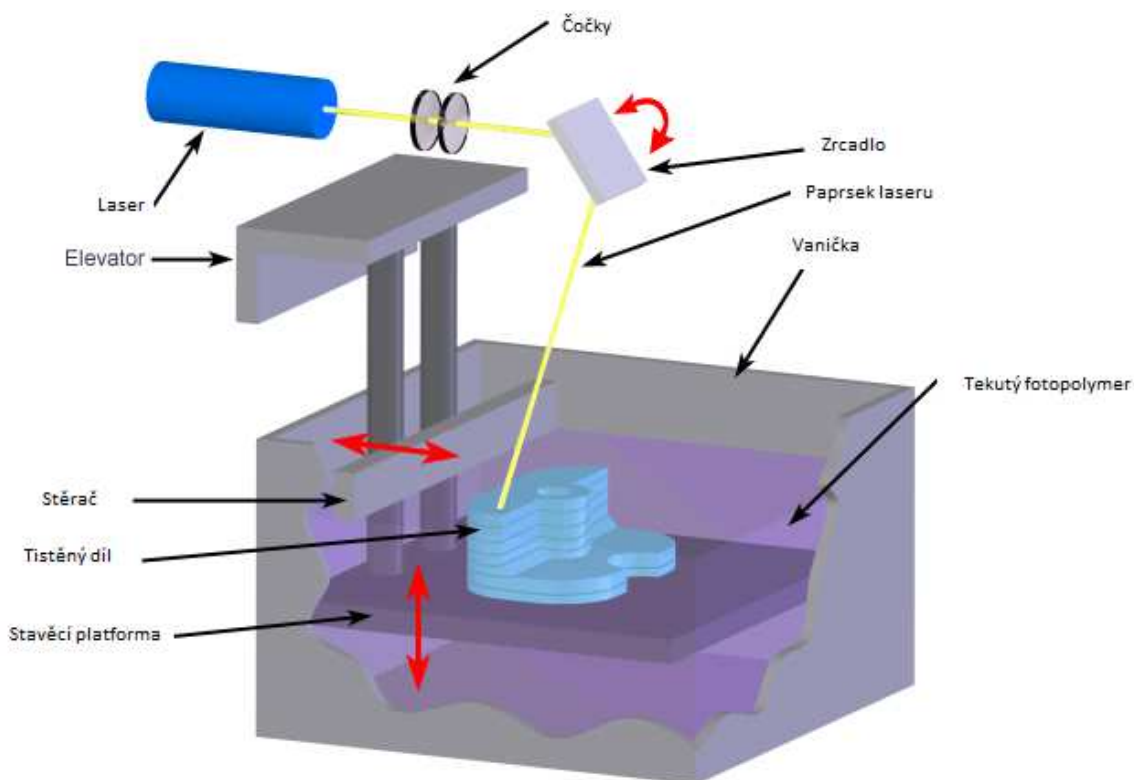
2.2.4 Stereolithography (SLA)

3D tisk má svůj původ v procesu zvaném Stereolitografie (SLA). Tuto metodu vyvinul Charles Hull již v roce 1984. Hull patentoval svůj nápad v roce 1986, kdy také založil firmu 3D Systems. Tato firma vyvinula první SLA tiskárnu a komercializovali ji v roce 1989.

Princip technologie SLA je velmi podobný již zmíněné technologii SLS. Model se sestaví vrstvením z CAD dat. UV laserový paprsek dopadá na zrcadlo, které je vedeno počítačem a pohybuje se v osách X, Y. Odraz paprsku je veden do nádoby s tekutou fotopolymerní pryskyřicí (Obr. č. 4.).

UV paprsek následuje hranice a výplň dvojrozměrného průřezu modelu a vytvrzuje pryskyřici všude tam kde je paprskem osvětlena. Platforma na, které se tvoří model, je z počátku těsně pod povrchem polymeru. Postupným vrstvením se posouvá o tloušťku vrstvy směrem dolů v ose Z. Každá vrstva se setře „stěračem“, který odstraní nerovnosti a vyhladí vrstvu před nanesením další vrstvy. Tloušťka nanesených vrstev se pohybuje od 0,05mm do 0,15mm. Proces opakujeme až do vtištění celého modelu. U složitějších a náročnějších modelů z hlediska tvaru se musí tisknout také dočasné podpory, které se po dokončení celého modelu manuálně odstraní.

V úplném závěru se platforma posune v ose Z směrem nahoru až nad hladinu polymeru a zhotovený model se vyjme. Přebytek tekutiny se z povrchu modelu opláchne. Model poté putuje ve většině případů do UV pece, kde se vytvrdí. Po konečném vytvrzení můžeme povrch brousit, leštit, obrábět a také barvit na příslušný barevný odstín.



Obrázek č. 4 – Schematické zobrazení technologie Stereolitografie[20]

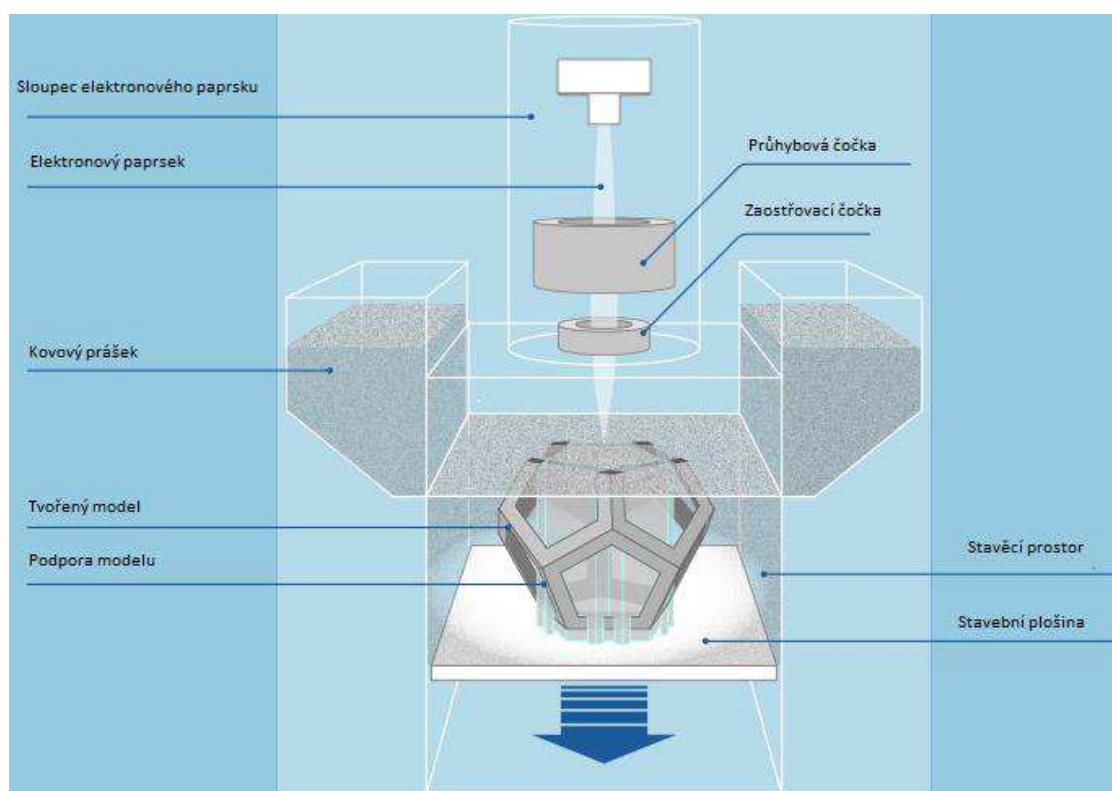
I přesto, že UV laser potřebuje pro vytvrzování polymeru oproti technologii SLS pouze malý výkon. Je tato technologie cenově nedostupná pro běžné uživatele. Dominantní výrobce této technologie je na trhu 3D Systems. [21][22][23][24][25]

2.2.5 Electron Beam Melting (EBM)

Technologie tavení elektronovým paprskem je proces, který používá aditivní výrobu známou jako 3D tisk. Vyvinuta byla švédskou firmou Arcam AB v roce 1997.

Tavení elektronovým paprskem využívá materiály ve formě prášku jako Titan a jeho slitiny (Ti64). Natavování probíhá elektronovým paprskem, což je podobné laserovému tavení. Elektronové paprsky jsou však schopny překročit teploty tání těchto kovů.

Tisk touto metodou probíhá ve vakuu (Obr. č. 5.). Stroj dodává pomocí „pohrabáče“ vrstvu kovového prášku na stavební plošinu, který se taví pomocí elektronového paprsku. Po vytvrzení této vrstvy se plošina spustí směrem dolů v ose Z o tloušťku následující nanášené vrstvy. Minimální tloušťka této vrstvy je 0,05 mm. Poté znovu nanese kovový prášek a opakujeme proces až do vytvoření celého modelu.



Obrázek č. 5 – Schematické zobrazení technologie Electron Beam Melting[26]

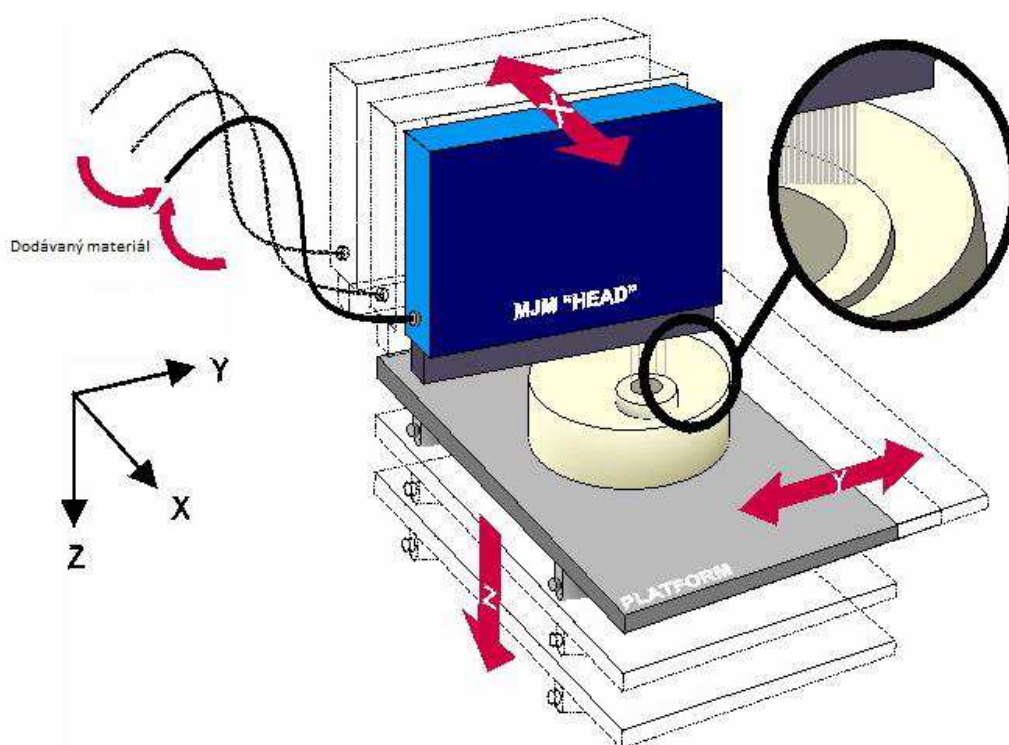
Modely vyráběné touto technologií mají tolerance $\pm 0,2$ mm, které se upravují konvenčními způsoby obráběním, frézováním a broušením. Mezi konečné povrchové úpravy se musí zařadit otryskávání zbylého prášku z modelu. Dalším důležitým procesem je žihání ke snížení vnitřního pnutí. Mezi oblasti využívající tuto technologii patří letectví, biomedicína (protézy, implantáty) a motosport.

Tavení elektronovým paprskem je stále pomalý a nákladný proces, který může pracovat pouze s omezeným sortimentem kovů.[26][27][28][29]

2.2.6 Multi – Jet Modeling (MJM)

MultiJet modelovací systém, který byl poprvé uveden na trh v roce 1996 jako kancelářské zařízení firmou 3D Systems. Je sofistikovanější technologií oproti SLA a SLS tiskárnám.

Technologie MultiJet Modeling pracuje podobně jako tiskové hlavy inkoustové 2D tiskárny. Jedná se o způsob rychlého prototypování, ve kterém je model postavený vrstvu po vrstvě pomocí tiskové hlavy. Tisková hlava obsahuje až 352 lineárně uspořádaných trysek. Velký počet trysek nám zaručí rychlé a rovnoměrné nanesení materiálu. Stroje, s nimiž je provedeno modelování multi-jet patří do skupiny 3D tiskáren. Vzhledem k malé velikosti kapiček produkovaných těmito tryskami mohou být vytištěny velmi malé detaily. V rozlišení asi 450 dpi „Dot Per Inch“ což znamená, že tato technologie je schopna převést až 450 bodů na jednotku jednoho palce.



Obrázek č. 6 – Schematické zobrazení technologie MultiJet Modeling[40]

Tiskařským materiálem je termopolymer. Při výrobě tvarově složitějších modelu se používají podpory z podpůrného materiálu, který bývá v případě této technologie z nízkotajícího vosku.

Princip tisku je obdobný modelování metodou SLA. Pomocí trysek, které jsou řízeny každá samostatně, se nanese vrstva v osách X, Y a je vytvrzena pomocí UV-laseru (Obr. č. 6.). Poté se základní stavěcí deska s modelem posune v ose Z, aby se mohla nanést další vrstva. Tento způsob se opakuje do vytištění celého modelu na základní desku. Pokud jsou použity voskové podpěry, model se zahřeje a podpěry se jednoduše ručně odstraní.

Tiskárny používající tuto technologii jsou velmi přesné, rychlé a provoz je čistotný. Vytvořený model je hladký a vyznačuje se tvarovou stálostí.[41][42][43][44][45]

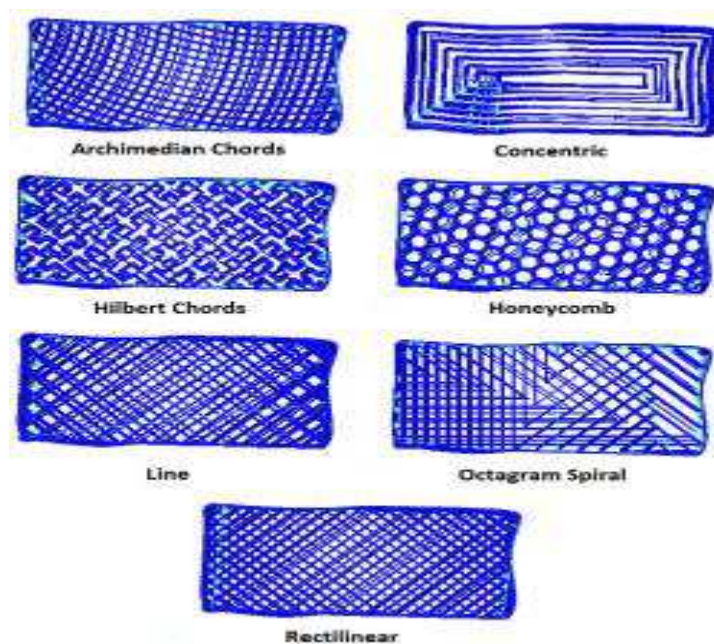
3. Tiskové strategie na dané 3D tiskárně

Ke každé tiskárně je dodáván program, ve kterém se otevře STL model, a postupně se nastavují parametry tisku. Jako jsou poloha modelu na tiskové ploše, daný materiál tisku, jeho teplota, rychlost podávání extrudéru, tloušťka vrstev a měřítko modelu. Velmi důležitý parametr je výplň modelu, volba strategií a počet obvodů.

3D tištěné předměty nejsou typicky 100% vyplněné pevné látky. Na místo toho jsou drženy pohromadě pomocí mřížkové struktury. Tisk s větší hustotou výplně udělá z modelu předmět s vyšší pevností, ale za cenu spotřeby materiálu a delšího času tisku.

Specifická strategie vzoru výplně má také velmi vysoký vliv na tiskařský čas a spotřebu tiskařského materiálu. Tiskárna EASY3DMAKER, která se dodává se Softwarem G3DMAKER. Tento program umožňuje si zvolit ze 7 různých výplňových strategií (Obr. č. 7.). Jsou to strategie Rectilinear, Line, Concentric, Honeycomb, Hilbertcurve, Archimedeananchors a Octagramspiral. Dále existuje mnoho jiných strategií, které se dají dokonce vytvořit samostatně podle zkušeností obsluhy tiskárny, ale k tomu je zapotřebí jiný software. G-code se může vytvořit v jiném programu a pouze se otevře v softwaru G3DMAKER, tento program ho přečte a tím umožní tisk jiných strategií.

Všechny vzory dostupné na této tiskárně se opakují vždy na každé vrstvě v osách X a Y. Snažíme se zvolit optimální strategii vhodnou na pevnost modelu, spotřebu materiálu a čas tisku.[46][47]

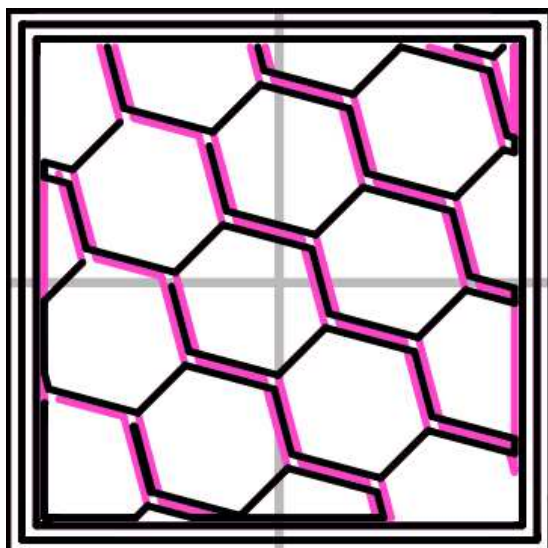


Obrázek č. 7 – Tiskové strategie[46]

3.1 Honeycomb

Jedná se o tiskovou strategii, která se inspirovala přírodou. Její charakteristický znak je totiž, že vizuálně po tisku vrstvy vypadá jako plástev medu. Plástev je vlastně tvořena šestiúhelníky.

Tato strategie si rozdělí model vrstvu po vrstvě do šestiúhelníku (Obr. č. 8.), které se navzájem dotýkají a tvoří plástev medu. Extrudér vykonává pohyb v ose X a Y po čárách, které tvoří strany těchto úhelníku navzájem svírající uhel 60° . Tento postup se opakuje v další vrstvě. Vliv na délku strany šestiúhelníku má procento výplně tiskovým materiálem. Na okrajích modelu se většinou netvoří celé šestiúhelníky, tvoří se pouze jejich části. Plocha, která je tištěna nelze vždy rozdělit pouze na celé obrazce.

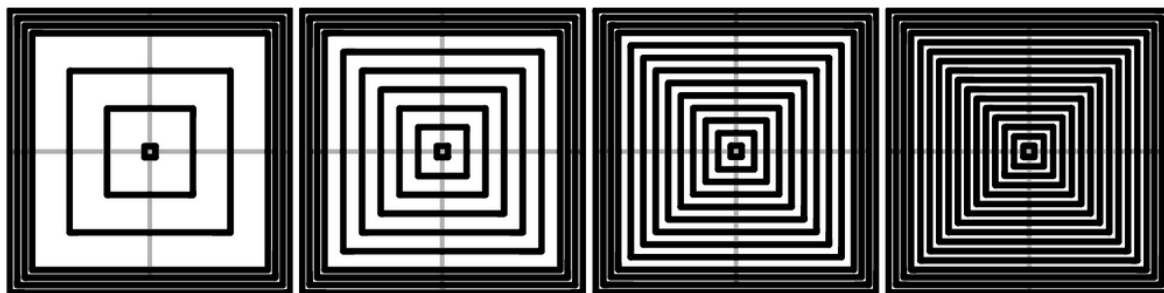


Obrázek č. 8 – Honeycomb strategie[48]

3.2 Concentric

Jedná se o takzvanou soustřednou strategii. Při této metodě kladení je důležitý tvar tištěné vrstvy. Tryska opisuje tento tvar dle procenta výplně a postupně se zmenšuje až ke středu dané plochy (Obr. č. 9.). Jestliže je k dispozici vrstva ve tvaru čtverce, tryška opisuje čtverec, který se postupně zmenšuje. U kruhové součásti se tryška pohybuje po kružnicích, které se postupně zmenšují. Vzdálenost mezi obrazci je daná procentem výplně. Čím větší procento, tím více obrazců v jedné vrstvě.

Tento vzor může být použit ke snížení vnitřního napětí na složité součásti s mnoha malými nebo zakřivenými úseky. Toto někdy omezuje deformaci, ale vzorek musí mít dostatečnou hustotu.[49]

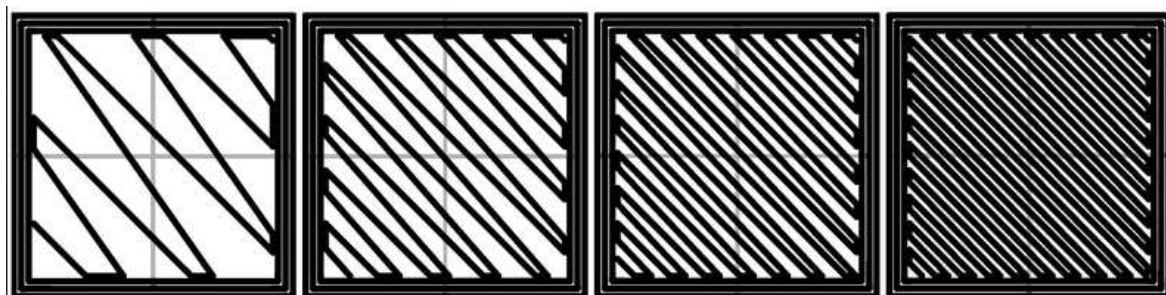


Obrázek č. 9 – Strategie Concentric, při výplni 20,40,60,80% [50]

3.3 Line

Tato tisková strategie je tvořena rovnými čarami, které vyplňují tvar vrstvy dle určeného procentuálního vyplnění. Čára vede až k hraně vrstvy, kde kopíruje tvar obrysu a poté se láme zpět od hrany vrstvy. Liché čáry jsou navzájem rovnoběžné, taktéž sudé. Tato výplň střídá směry kolmo u jednotlivých linek v každé následné vrstvě.

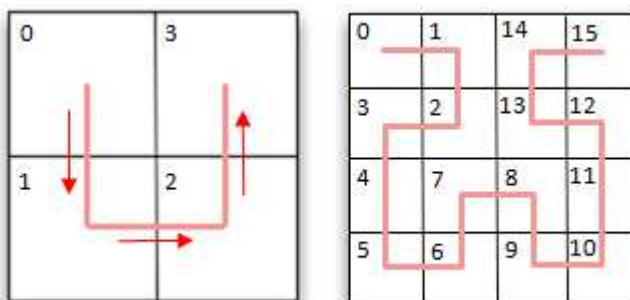
Hlavní výhoda tohoto výplňového typu je, že při extrudování se nikdy čáry přímo neztotožňují s čarami vrstev již vytištěných. Toto může pomoci při tisku velmi tlusté vrstvy.[49]



Obrázek č. 10 – Strategie Line, při výplni 20,40,60,80% [50]

3.4 Hilbert Curve

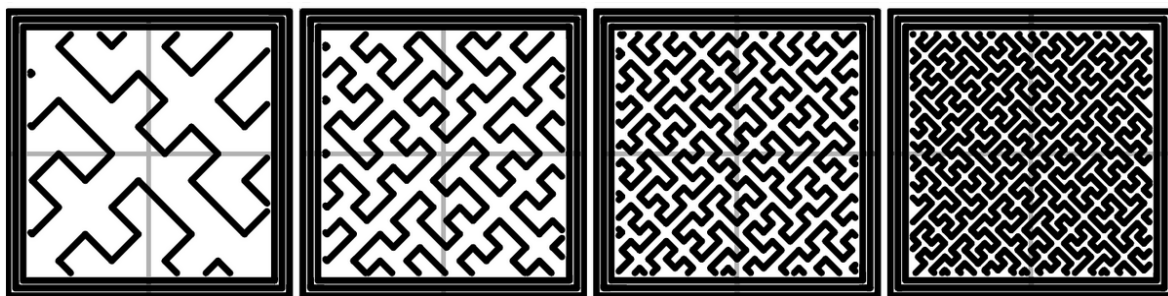
Jedná se o křivku vyplňující plochu na první pohled složitým vzorem. Tento vzor je však generovaný opakovaným použitím jednoduchých pravidel. Vzorek byl vytvořen matematikem Davidem Hilbertem v roce 1891. Připomínající nepřerušovanou linii neprůchodného bludiště. Tato křivka je tvořena neúplnými čtverci, tedy čtvercem, který má pouze tři strany. Jde tedy o U – tvar.



Obrázek č. 11 – Hilbertovy čtverce 2 x 2 a 4 x 4 [51]

Tento vzor lze vysvětlit na čtvercové mřížce 2 x 2. Řetězec začne v levém horním čtverci a postupně se přes ostatní tři čtverce překryje a vytvoří se U-tvar. Tento postup je stejný např. u 4 x 4 mřížky (Obr. č. 11.). V tomto případě se musí křivka ve tvaru U pouze mezi jednotlivými čtverci propojit.

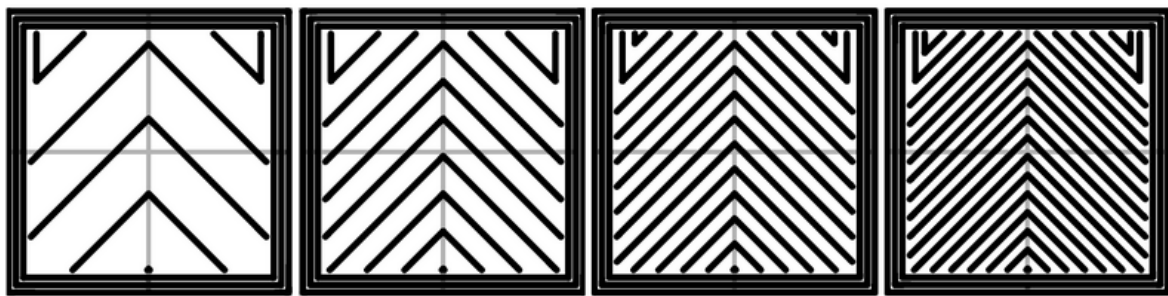
U této strategie při 3D tisku rozhoduje o hustotě tohoto vzorce velikost procenta výplně (Obr. č. 12.). Tato strategie je oproti přímočarým, jako je např. Line a Concentric označována za pomalou vzhledem k času tisku. Neúplné čtverce jsou vytvořeny pod úhlem 45° . Používá se při tisku většinou za účelem vzhledových vlastností.[51]



Obrázek č. 12 – Strategie Hilbert Curve, při výplni 20,40,60,80% [50]

3.5 Octagram Spiral

Tato tisková strategie je založena na přímkách, které mezi sebou svírají uhel 90° . Opticky vypadají jako šipky (Obr. č. 13.). Tvoří se vždy od jednoho okraje pod úhlem 45° do jedné poloviny dané plochy v ose X, kde se tato přímka zlomí o 90° a vrací se k protějšímu okraji. Dle hustoty výplně mohou vznikat tyto šipky v dolní hraně a také tam mohou končit. Po vtištění jedné vrstvy se tato strategie otočí o 90° . O hustotě tedy vzdálenosti těchto šipek rozhoduje velikost výplně materiálem v procentech.

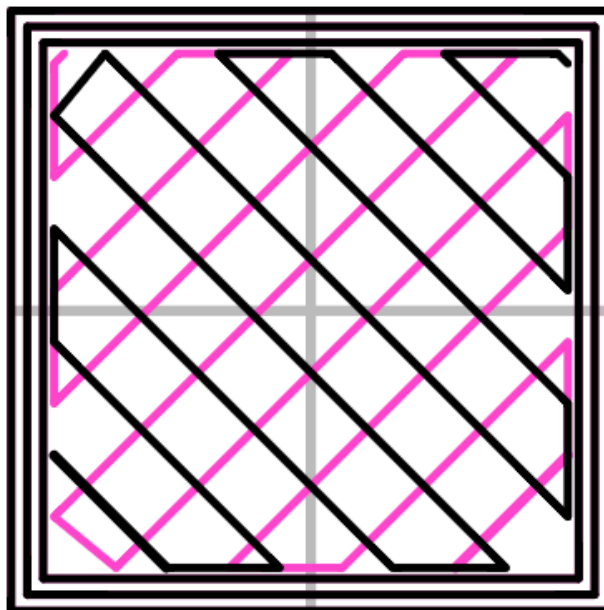


Obrázek č. 13 – Strategie Octagram Spiral, při výplni 20,40,60,80% [50]

3.6 Rectilinear

Tato výplň se skládá z rovnoběžných čar, které vznikají pod úhlem 45° . Spojují mezi sebou dvě přilehlé strany. Tyto čáry u okraje kopírují obvod tak dlouho, dokud nedojde k rozdílu, který je dán vzdáleností těchto rovnoběžných čar dle výplně. V další vrstvě se čáry kříží a jsou otočeny oproti předchozí vrstvě o 90° .

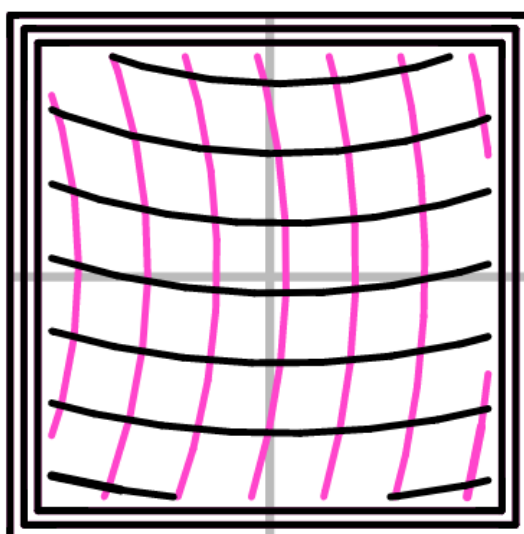
Vzdálenost těchto rovnoběžek je dána procentem výplně. Tato strategie tvoří čtverce, které jsou propojeny svými stranami (Obr. č. 14.). Vzor výplně přidává tuhost a mimořádnou pevnost bez velkého použití tiskového materiálu a také tiskového času.[52]



Obrázek č. 14 – Rectilinear strategie[48]

3.7 Archimedean Chords

Tento vzor je jeden ze složitějších. V programu G3DMAKER je tato strategie považovaná za pomalejší oproti přímočarým. Z důvodu většího času na tisk. Je tvořena z části Archimedovy spirály. Tvořící na tištěné ploše oblouk (Obr. č. 15.). Zaleží ovšem na nastavení procenta výplně, které určí, jak velká část této spirály bude vytištěna uvnitř vrstvy. V druhé vrstvě se střed spirály nachází v jiném bodě. Což vytváří oblouky otočené o 90° oproti předešlé vrstvě.



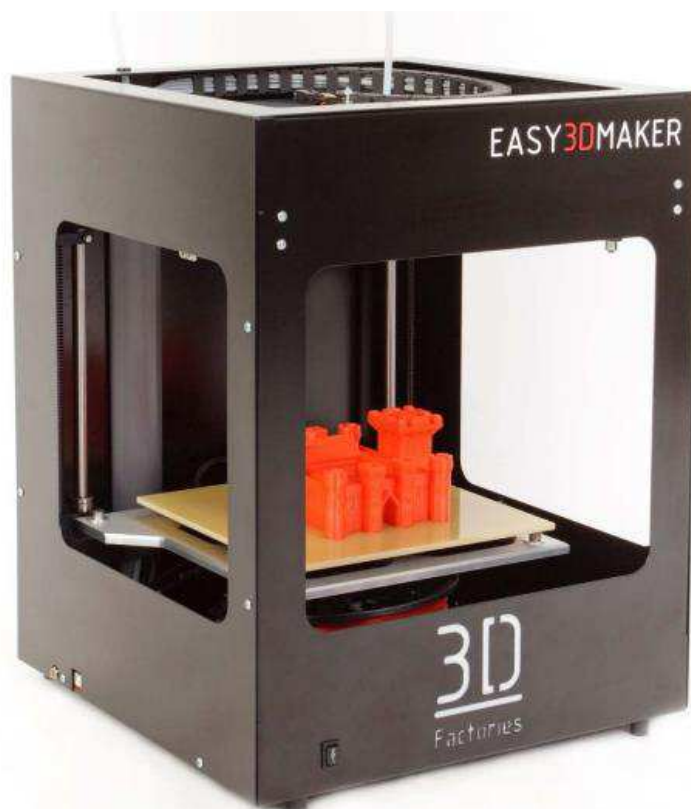
Obrázek č. 15 – Archimedean Chords strategie[48]

4. Experimentální část

4.1 3D Tiskárna – EASY3DMAKER

Tiskárna EASY3DMAKER je navržena a vyrobena v České republice firmou 3D factories. Jedná se o tiskárnu, která je spotřebitelům dodávána již sestavená. (Obr. č. 16.) Je to jedna z prvních 3D tiskáren prodávaných v České republice pro běžné uživatele za přijatelnou cenu.

Tiskárna má celokovový plášť, který je vyroben ze slitin hliníku a mořené oceli. Ocelový rám poskytuje pevnost a stabilitu celé tiskárny. Více namáhané součásti jako vodící tyče a kolečko extruderu je upraveno podle výrobce tak, aby vydrželo i při dlouhodobém provozu a častém používání.



Obrázek č. 16 – Tiskárna EASY3DMAKER [55]

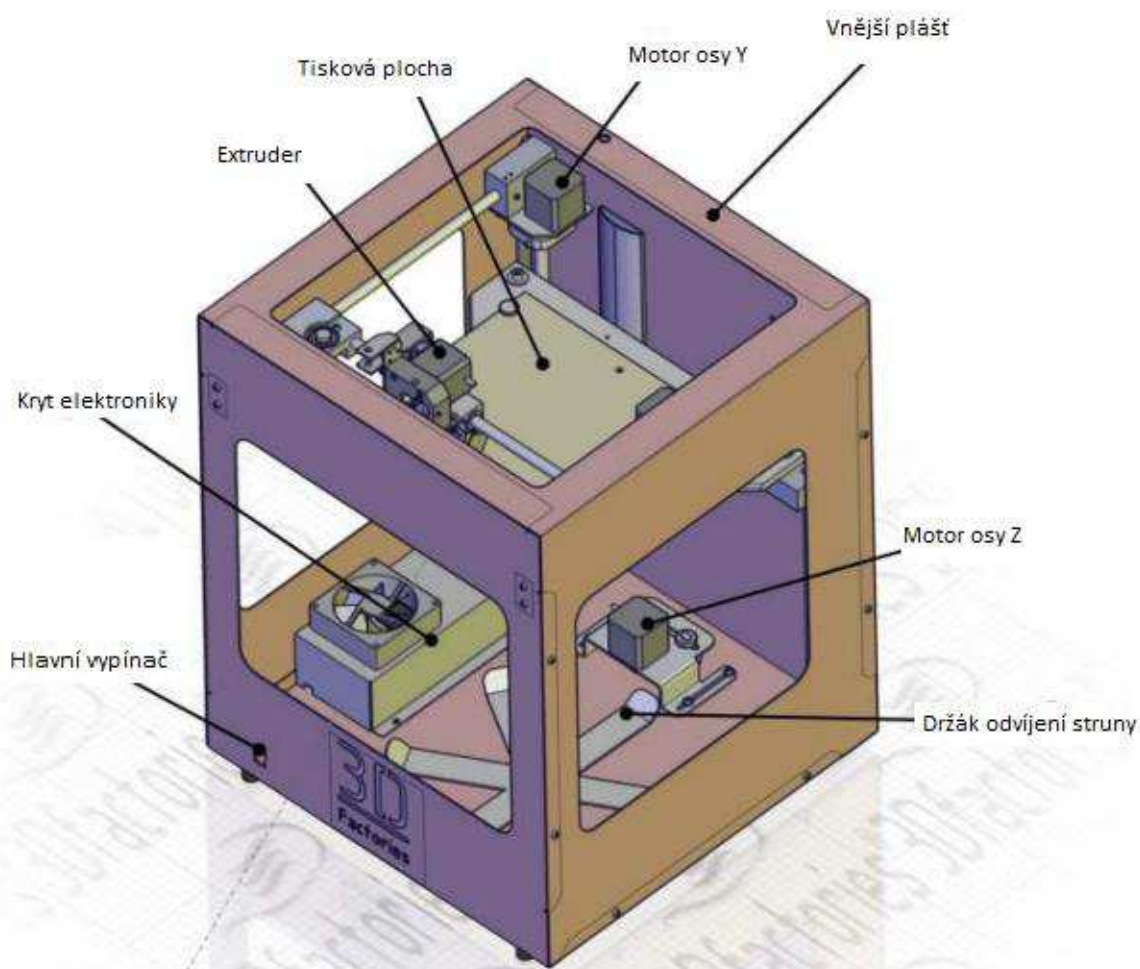
EASY3DMAKER řadíme do střední třídy 3D tiskáren. Jde o hobby tiskárnu. Poskytující přesnost tisku 0,1 mm ve vodorovném rozlišení a 0,08 mm výšky vrstvy. Dosažená přesnost zaleží na nastavení tiskařských podmínek a tiskové plochy.

Tiskárna má otevřený prostor, ve kterém se tiskne. Spotřebitel může sledovat tisk a tvoření modelu po vrstvách. Tiskárna je dodávána v balení s USB kabelem, CD, 3D lepidlem, imbusovým klíčem, špachtlí a adaptérem. Na CD je nahrán software, který je nenáročný na ovládání a ovládá tiskárnu.

EASY3DMAKER používá technologii FMD, o které je více v bodě 2.2.1 a podporuje tiskařské materiály z ABS a PLA dodávané ve strunách o průměru 1,75 mm.

Maximální tisková plocha je 200 x 200 x 230 mm. Modelovací prostor má objem 9200 cm³. Rozlišení tiskových vrstev na modelu je 0,08 mm; 0,125 mm a 0,25mm. Rozlišení vrstvy nám ovlivní počet vrstev v celém modelu a vzhled. S menší vrstvou tiskne tiskárna větší detaily. Celkový vnější rozměr tiskárny je 400 x 400 x 500 mm. Tato tiskárna je velmi skladná a nepotřebuje v kanceláři, dílně nebo doma na stole mnoho místa.

Po celou dobu tisku musí být připojena tiskárna pomocí USB kabelu k PC nebo notebooku. Do počítače se instaluje software G3DMAKER. V tomto softwaru se nastavují veškeré parametry tisku, vygeneruje se G-code a v průběhu tisku můžeme sledovat celý postup kladení vrstev.



Obrázek č. 17 – Popis tiskárny EASY3DMAKER [55]

Základní části jsou vnější plášť, motor osy Z, držák odvíjení struny, hlavní vypínač, kryt elektroniky, extruder, tisková plocha, motor osy Y (Obr. č. 17.). Pohyb osy Z je veden s dvojitým jištěním na lineárním kuličkovém ložisku, což umožňuje přesné polohování. Tisková plocha je vyhřívána, což je důležité hlavně u materiálu ABS, z důvodu vysokého pnutí při tuhnutí vrstev. Při rychlém tuhnutí, které vytváří vnitřními pnutí, se často odlepují rohy z modelu na tiskové podložce.[53][54][55][56]

4.1.1 Parametry EASY3DMAKER

Tisková plocha:	200 x 200 x 230 mm
Celkový modelovací prostor:	9200 cm ³
Rozlišení vrstvy:	0,08/0,125/0,25 mm
Rychlost tisku:	80 mm/s
Rychlost přejezdu:	230 mm/s
Napájení a příkon:	24 V / 180 W
Průměr trysky:	0,3 mm
Rozměrová tolerance:	0,1 mm
Rozměry:	400 x 400 x 500 mm
Maximální teplota:	280 °C
Hmotnost:	16 kg
Vyhřívání podložka:	ANO
Technologie:	FMD
Materiály:	PLA / ABS

4.2 EASY3DMAKER tiskové materiály

Použitý materiál závisí od použité aditivní technologie 3D tisku. Každá tiskárna podle technologie, kterou používá, předepisuje tiskařské materiály. U každého materiálu pro 3D tisk jsou doporučené parametry, jako tisková rychlost, posuv materiálu a teplota tavení. Tyto parametry nám předepisuje výrobce dodávaného tiskového materiálu. Existuje několik druhů materiálů jako plasty, pryskyřice, papír, kovy, materiály na bázi dřeva, keramika, sádra a různé bio materiály na tisk živých tkání. Materiály se dodávají ve formě prášku, drátu, granulí, pryskyřice a také v peletách.

Tiskárna EASY3DMAKER podporuje dva typy materiálů. Jedná se o materiál PLA a ABS pro používanou technologii FMD. Dodávají se ve formě drátů navinuté na kotouči.[30]

4.2.1 PLA (Poly Lactid Acid)

Je vedle ABS nejvíce používaným materiálem pro 3D tisk metodou extruze termoplastu. Poly Lactid Acid neboli kyselina polymléčná je termoplastický polyester, který je zdravotně nezávadný. Je biologicky odbouratelný a vyráběný z kukuřičného, bramborového škrobu nebo cukrové třtiny.



Obrázek č. 18 – Tisková struna z PLA [31]

Za největší přednost se považuje nepatrná náklonost ke kroucení, která je daná malým rozpínáním při tavení. Materiál není náchylný k deformacím a vadám vlivem chladnutí. Proto nevyžaduje na rozdíl od ABS vyhřívanou podložku, na které se vytváří model. Při nižších teplotách je vytištěný model pevný a jednotlivě kladené vrstvy jsou také pevně spojené. Z hlediska materiálu je výrobek z PLA méně pružný na rozdíl od ABS modelu. Jeho výhodou oproti ABS je vyšší lesk. Nevýhoda je, že tyto výrobky nejsou odolné vyšším teplotám, neboť začínají měknout již okolo 60 °C. Tisková teplota extruderu se pohybuje od 190 – 220 °C.

Materiál je dodáván ve formě drátů v průměrech 1,75 – 3 mm. Barevné odstíny jsou různé např. žlutá, červená, zelená, bílá a černá. Nejuniversálnější variantou je průhledná bez zbarvení.

Po tisku se dá materiál brousit, vrtat, tmelit a lakovat pomocí akrylových barev. Modely nemůžeme strojně brousit z důvodu vysoké teploty tohoto procesu vzhledem k nízké teplotní odolnosti PLA.

Tento materiál se používá pro tisk geometricky složitých a komplikovaných dílů. Je cenově dostupný pro školy a domácí kutily.[32][33][34]

4.2.2 ABS (Akrylonitril Butaien Styren)

ABS je základní materiál pro tiskárny s technologií FMD. Tento materiál je vhodný pro funkční aplikace výrobků, protože odpovídá z 80 % vlastnostem vstřikovaných plastů. Je velmi tuhý, odolný nízkým a vysokým teplotám a také chemikáliím, jako jsou kyseliny. Teplotní odolnost tohoto materiálu je okolo 100 °C. Často se srovnává s materiálem PLA, protože si většinou vybírá spotřebitel právě ABS nebo PLA. Pro tisk na cenově dostupných „hobby“ tiskárnách.

Extrudér tiskárny pracuje při teplotě 210 – 250 °C. Tato teplota je doporučena výrobcem jako optimální teplota pro tisk materiálu. Tiskárna musí být nutně vybavena vyhřívanou podložkou, protože materiály ABS musí chladnout průběžně, abychom zabránili deformacím materiálu nebo praskání. Tisková hlava nevyžaduje maximálně přesné nastavení. Na základní desku se aplikují 3D lepidla z důvodu odtrhnutí malých předmětů od tiskového stolu.

Nevýhodou může být při tavení zápach tavení plastů. ABS je vyráběn z fosilních paliv, proto je biologicky nerozložitelný. Dá se však recyklovat. Barva a povrch modelů se může zhoršit, pokud je výrobek vystavený dlouhodobě slunečnímu záření. Skladování materiálu by mělo být bez styku s okolní atmosférou. Z důvodu absorpce vlhkosti, která může snížit vizuální kvalitu dílu a přesnost.



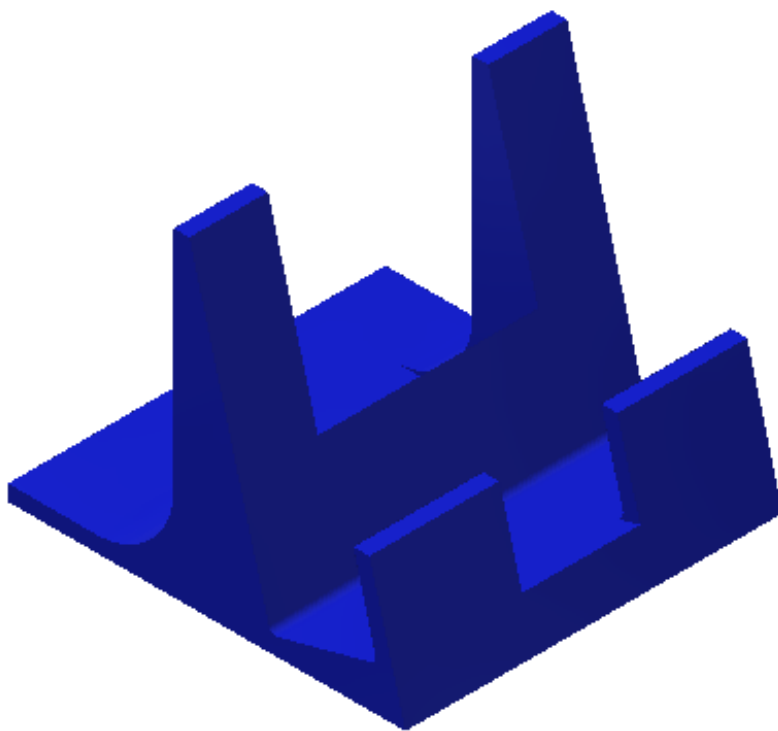
Obrázek č. 19 – Tisková struna z ABS černá [35]

Materiál je dodáván ve formě drátů o průměru 1,75 – 3 mm, který je navinutý na kotouči (Obr. č. 19.). Základní barva, která je dostupná na trhu je bílá. ABS se již dodává v mnoha barevných variantách.

Tento materiál se používá pro tisk dílů v automobilovém průmyslu, pro výrobu hraček a domácích potřeb.[34][36][37][38][39]

4.3 Tištěný model

Pro tisk a hodnocení strategií byl zvolen model z portálu Thingivers (Obr. č. 20.). Jedná se o portál, na který nadšení návrháři sdílejí své modely pro 3D tisk. Je to velice oblíbená stránka. Přes 56% uživatelů tiskáren využívá podle 3D Hubs stránku Thingives pro vyhledávání modelu. Tyto modely se využívají pouze pro nekomerční využití. Důležité je také uvést jméno autora STL modelu. Autorem modelu používaného v bakalářské práci je James Carmichael de Klerk.



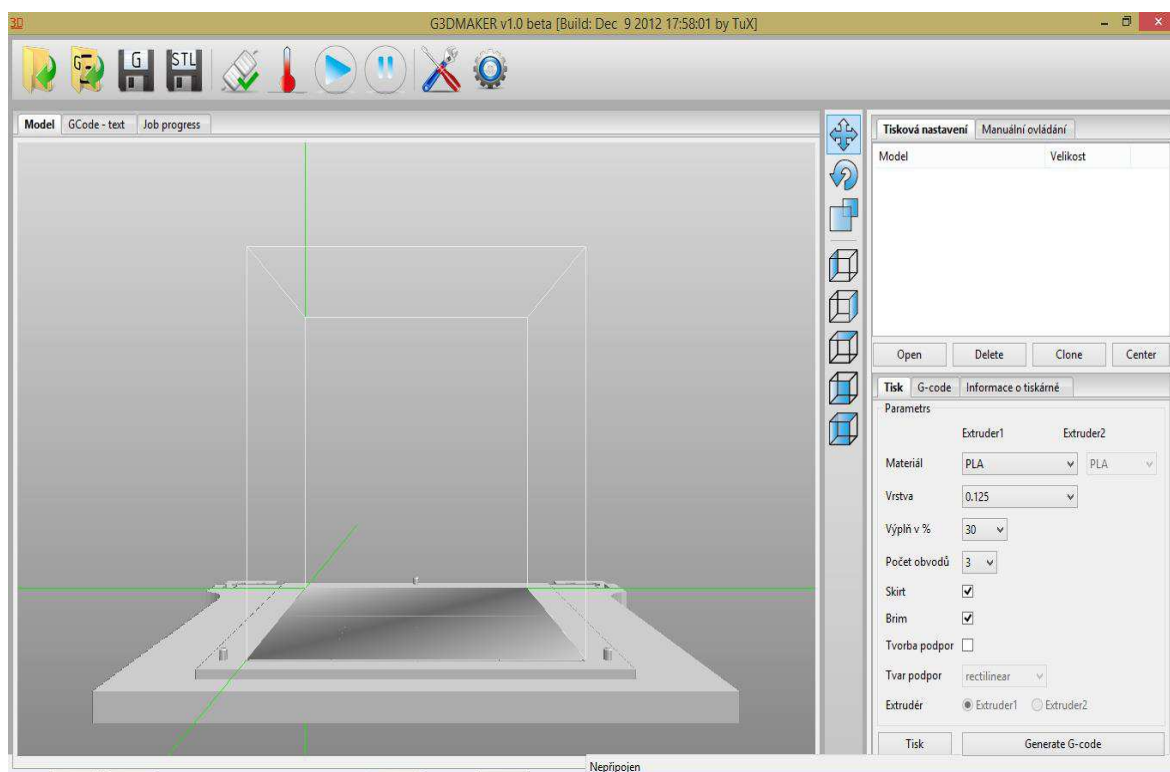
Obrázek č. 20 – Universální stojan na mobilní telefon

Tištěný model je univerzální stojan na mobilní telefon (Obr. č. 20.). Tento model byl zvolen z důvodu komplexnosti. Vzhledem ke složitosti tištěné součásti a spotřebě základního materiálu. Na součásti se nachází zaoblení a šikmá plocha. Podstavec je tvořený obdélníkem, na které si lze prohlédnout styl použité výplně.

Model je připravený pro tisk, je v podporovaném formátu pro 3D tisk STL. Pouze pro vytvoření výkresu z 3D modelu v Inventoru 2015, se musí model převést z formátu STL do IPT. Pro tento převod je zapotřebí Autodesk Mesh Enabler, tedy doplněk pro inventor, dostupný pro studenty na oficiálních stránkách Autodesku. Výkres univerzálního stojanu na mobilní telefon je součástí příloh jako příloha A.[57]

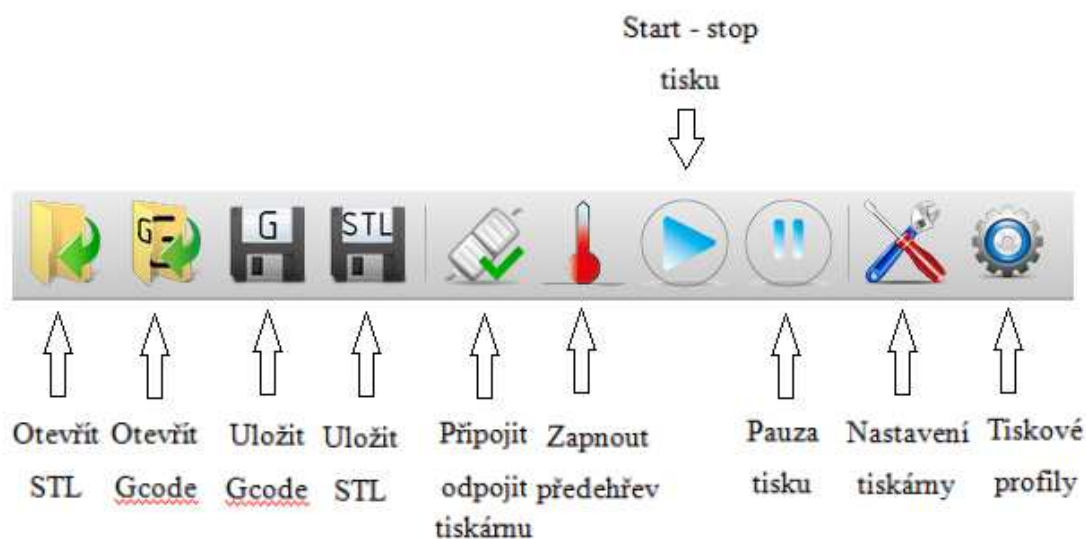
4.4 Software G3DMAKER

Jedná se o program, který je dodáván k tiskárně. Pro spotřebitele by měl být snadný, je totiž celý v češtině. Tento program převede formát STL do formátu pro 3D tisk na tiskárně EASY3DMAKER. Program slouží pro veškeré nastavení tisku a generování G-codu a následný tisk.



Obrázek č. 21 – Úvodní okno programu

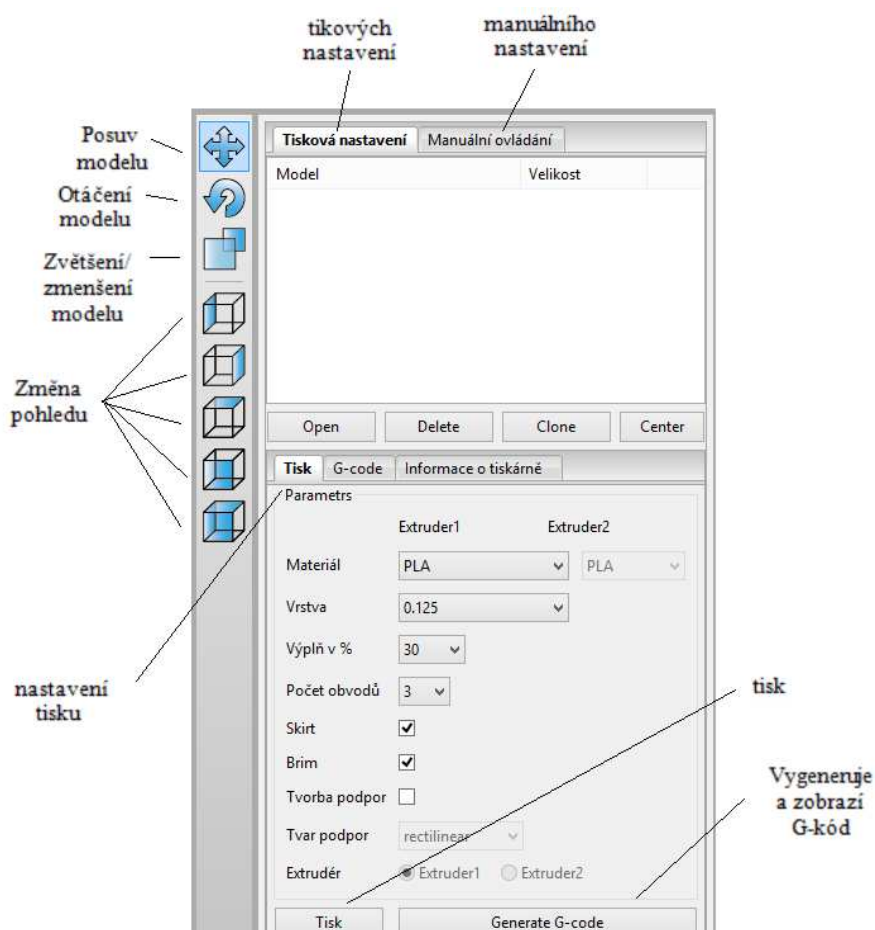
Po otevření programu se zobrazí úvodní okno programu (Obr. č. 21.). Úvodní okno se dá rozdělit na nástrojovou lištu (Obr. č. 22.). Na nástrojové liště se nachází 10 ikon. Důležité jsou ikony otevření souboru, buď z formátu STL nebo vygenerovaný G-code z jiného programu. Dále uložení G-codu nebo uložení STL souboru. Další ikona připojení k tiskárně je důležitá, aby se propojil program a tiskárna. Ikona předehřev slouží pro předehřev extruderu a tiskové plochy na danou teplotu. Start – stop a pauza tisku umožňuje zapnout – vypnout a pozastavit tisk. V ikoně nastavení tiskárny se nastaví samotná tiskárna a v tiskových profilech nalezneme nastavení modelu.



Obrázek č. 22 – Nástrojová lišta[55]

V úvodním okně zabírá největší prostor obrazovky část, která se nachází pod nástrojovou lištou. Tato část je rozdělena na tři záložky model, G-code a Job progress (Obr. č. 21.). V záložce model lze sledovat model, který je na základní desce. G-code obsahuje všechny pohyby trysky vypsány v G-codu pomocí souřadnic. Job progress popisuje stručný popis aktuální situace tisku modelu.

V programu lze na základní desku nahrát jeden nebo více modelů s ohledem na velikost tiskové plochy. Můžeme je posouvat po tiskové ploše, různě pootáčet a měnit měřítko. Na model můžeme nahlížet z různých pohledů, kterých je v nabídce 5 základních (Obr. č. 23.). V záložce tisk nastavujeme tiskařský materiál, tloušťku tištěné vrstvy, výplň modelu a počet obvodů. Po nastavení generujeme G-code popřípadě, že ho již máme, můžeme tisknout. Panel nastavení programu nabízí mnoho dalších možností jako je manuální ovládání tiskárny apod.



Obrázek č. 23 – Panel nastavení programu[55]

4.5 Tiskové pomůcky

Kromě již zmíněné tiskárny EASY3DMAKER a notebooku s nainstalovaným programem G3DMAKER se k tiskárně dodává 3D lepidlo a špachtle (Obr. č. 24.).

3D lepidlo se používá pro nanesení tenké vrstvy na tiskovou plochu. Používá se pro materiál ABS i PLA. Důležité je hlavně u materiálu ABS z důvodu velkého pnutí, při tuhnutí má tendenci se odlepovat od vyhřívané tiskové plochy. Lepidlo zaručí dostatečnou přídržnost k tiskové ploše.

Po vytištění celého modelu je důležitá špachtle nebo zkracovací nůž s vysouvací čepelí. Slouží k odstranění modelu z tiskové plochy. Špachtle se používá také pro vyčištění tiskové plochy od zbylého 3D lepidla.

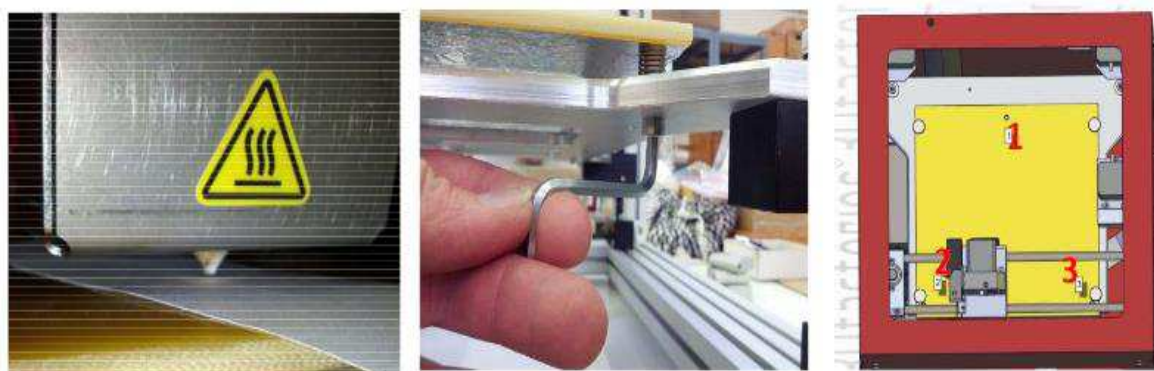


Obrázek č. 24 – 3D lepidlo a špachtle[55]

4.6 Nastavení tiskárny

Při prvním připojení tiskárny k počítači je důležité provést kalibraci tiskové plochy. Kalibrace je důležitá z důvodu nastavení správné vzdálenosti trysky od tiskové plochy. Ke kalibraci potřebujeme běžný kancelářský papír a imbusový klíč, který je dodáváný k tiskárně.

V záložce manuální ovládání zvolíme ikonu Home Z, což znamená najetí trysky v ose Z do výchozího bodu. Vložíme mezi trysku a tiskovou plochu kancelářský papír a pomocí šroubu, které se nachází na spodní části tiskové plochy, ve třech bodech (Obr. č. 25. vpravo). Nastavíme výšku tiskové plochy tak, aby kancelářský papír byl tryskou přidržován mírným tlakem (Obr. č. 26. vlevo). Papír nesmí být pod tryskou volný ani silně přitlačený k tiskové ploše. Tento proces opakujeme ve všech třech bodech, kde se nachází šrouby.



Obrázek č. 25 – Postup kalibrace tiskové plochy[55]

Kalibrace se provádí také průběžně po nějaké době používání tiskárny. Kromě kalibrace tiskové plochy je velmi důležité, aby byly všechny řemeny napnuté. S tímto problémem však výrobci při konstrukci tiskárny nepočítali a řemeny nelze napnout. Důležité je také pravidelné čištění a mazání hřídele silikonovým olejem nebo olejem s obsahem teflonu.

Pokud je kalibrace špatně provedena nebo jsou řemeny povolené, dochází k tvarovým nepřesnostem. Posune se tištěná vrstva a vzniká zmetek (Obr. č. 26.). Je to jedna z prvních tiskáren, takže pokud proklouzne řemen, extruder se vlivem proklouznutí nachází ve špatné souřadnici a vzniká posunutí vrstvy, protože extruder pokračuje podle souřadnic G-codu. Tiskárna není schopná vrátit se do bodu, kde se stala chyba, a řemen proklouznul. Tiskárna totiž nemá žádnou zpětnou vazbu, kde se extruder právě nachází, a pokračuje v pohybu pomocí souřadnic, které jsou v G-codu.[55]



Obrázek č. 26 – Vadné posunuté vrstvy v modelu

4.7 Příprava modelu k tisku

Model ve formátu STL lze vytvořit v celé řadě CAD programu jako Inventor, SolidWorks. Po spuštění aplikace G3DMAKER se otevře model pomocí ikony otevřít STL. U otevřeného modelu lze použít ikonu otočení modelu, kde se zvolí orientace modelu na tiskové ploše. Snažíme se zapolohovat model tak, aby byla potřeba podpor co nejmenší.

Následuje nastavení tiskárny (Obr. č. 27.), které je shodné pro tisk všech strategií. V nastavení tiskárny se vybere model tiskárny EASY3DMAKER. Vybere se číslo COM portu. Nastaví se předehřev extruderu, který je v tomto případě 230 °C. Teplota ohřevu podložky je 70 °C. Parkovací pozice a akce po stisku stop tlačítka jsou již přednastaveny.

Obrázek č. 27 – Nastavení tiskárny

Po nastavení tiskárny je velmi důležité nastavit tiskové profily (Obr. č. 28.). V tiskových profilech jsou tři záložky G-code, Editor materiálu a Print profiles.

V záložce Editor materiálu se volí nebo přidává materiál dle používané struny základního materiálu. Tato nastavení se nějak neměnilo, struna z PLA o průměru 1,75 mm už byla na tiskárně používána a materiál zde zůstal předdefinovaný.

Další záložkou je G-code, ve které také nedošlo ke změně. Je zde nastaven začátek a konec G-codu.

Nejdůležitější nastavení modelu je v Print profiles, ve kterém je přednastavena přesnost, zpětný tah a tisková základna. Změny jsou provedeny pouze v tiskovém nastavení.

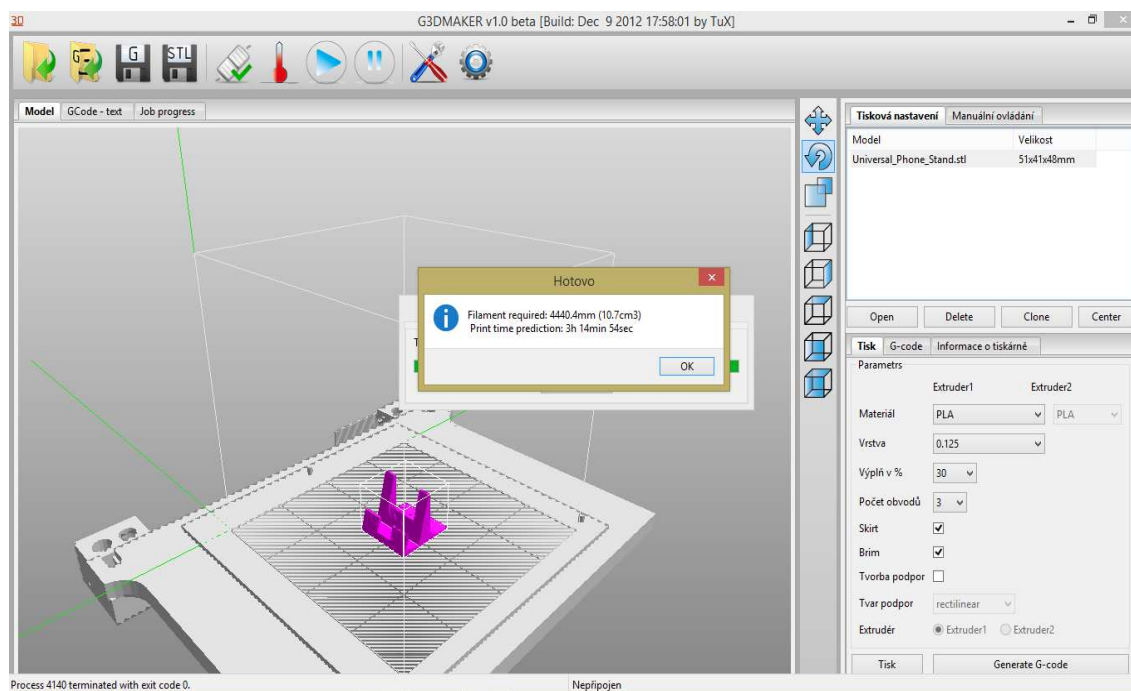
Tiskové nastavení obsahuje plné vrstvy, tvar výplně a tvar plné výplně. V plné vrstvě se nastavuje počet horizontálních vrstev ve spodní části a horní části modelu. Dle výrobce, který doporučuje počet těchto vrstev vzhledem k tloušťce vrstev. Pro tloušťku 0,08 mm je to $6 \div 12$ vrstev, tloušťka vrstvy 0,125 mm má doporučeno $4 \div 6$ a u tloušťky 0,25 mm postačí dle výrobce $2 \div 4$. Ve tvaru výplně vybíráme vzor pro tisk ze sedmi druhů strategií již zmíněných v bodě č. 3.

Obrázek č. 28 – Tiskové profily

Tvar plné výplně v programu G3DMAKER kombinuje výplně v závislosti na počtu plných vrstev, které jsou na dolní a horní části modelu. Tyto vrstvy mají na rozdíl od tvaru výplně pouze omezený počet strategií Rectilinear, Concentric, Hilbertcurve, Archimedeananchors a Octagramspiral. To v praxi znamená, že model se může skládat ze dvou rozdílných stylů vrstvení. Protože ostatní vrstvy vyjímáje prvních a posledních v rozmezí $4 \div 6$, mají rozdílný styl vrstvení nebo stejný podle toho, co se nastaví ve tvaru výplně. V tomto programu lze jeden model vytisknout ve 35 různých kombinacích strategií. Tyto strategie jsou důležité pro hodnocení modelu v této bakalářské práci. Nastavení, které se u tisku stojanu mobilního telefonu nemění:

Plné vrstvy: 5
Úhel výplně: 45°
Materiál: PLA
Vrstva: 0,125 mm
Výplň: 30%
Počet obvodů: 3
Rychlost: 80 mm/s
Teplota: 200 °C

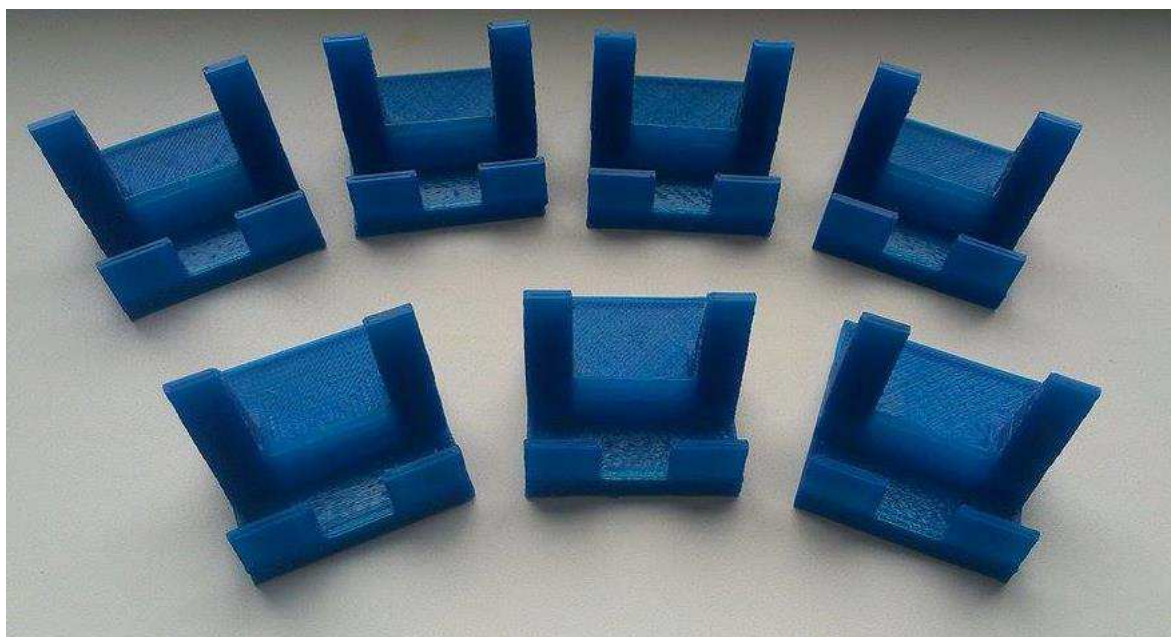
Změny po vytištění jednoho modelu provádíme pouze ve tvaru výplně a tvaru plně výplně. Po již zmíněném nastavení vygenerujeme G-code tlačítkem Generate G-code, po vygenerování kódu se nám zobrazí přibližný čas a spotřeba materiálu (Obr. č. 29.). Každý použitý G-code, je v elektronické příloze B na CD z důvodu velkého počtu stránek. Po veškerém nastavení a vygenerování G-codu už nám nic nebrání k tisku samotného modelu.[55]



Obrázek č. 29 – Dokončené generování a trasování

4.8 Tisk

Pro tisk a hodnocení strategií se vyrobilo 7 modelů (Obr. č. 30.). Na modelech jsou využity kombinace tvaru výplně a plně výplně. U tvaru výplně bylo využito ze sedmi různých druhů pouze šest. Z důvodu problému u tvaru výplně Honeycomb tedy pláštěv medu, který je dále popsán v kapitole 4.10. Modely jsou vytištěny v měřítku 1:1, tedy v rozměrech 51 x 48 x 41 mm. Při tisku v měřítku 1:1 se všechny stojany na mobilní telefon rozdělí v modelu na 325 vrstev.



Obrázek č. 30 – Vytisknuté modely

Na obrázku č. 30 zleva doprava počínaje horní řadou jsou očíslované modely od č. 1 – č. 7. Tabulka č. 1 zobrazuje, tvary vyplní příslušné každému modelu.

Tabulka č. 1 – Výplně modelu

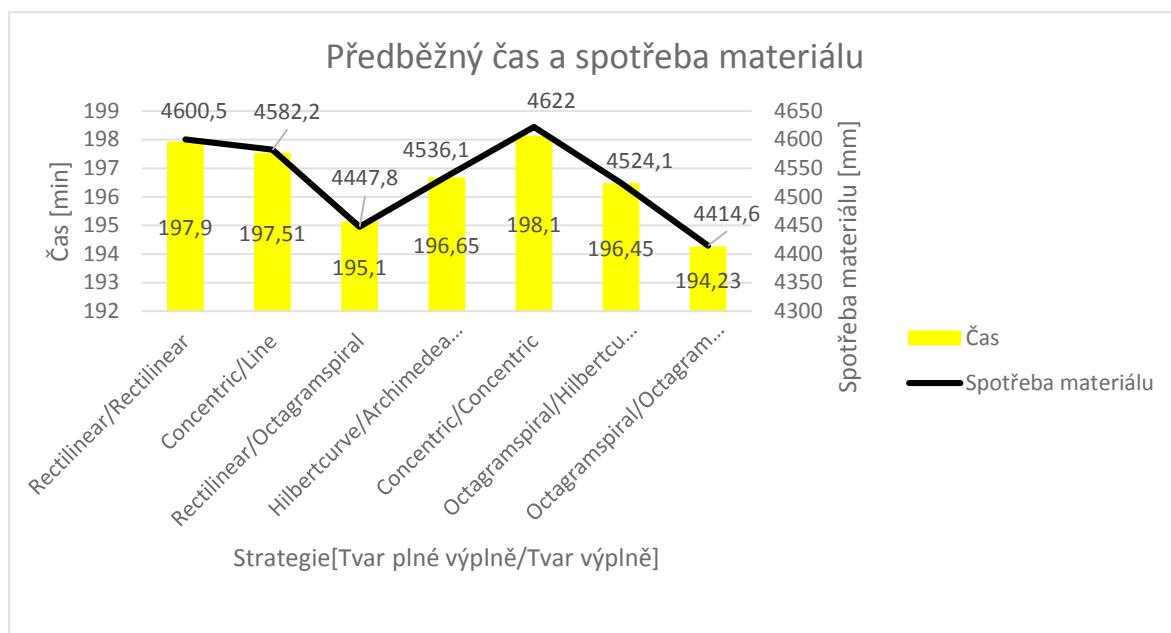
Číslo modelu	Tvar plné výplně	Tvar výplně
č. 1	Rectilinear	Rectilinear
č. 2	Concentric	Line
č. 3	Rectilinear	Octagramspiral
č. 4	Hilbertcurve	Archimedeananchors
č. 5	Concentric	Concentric
č. 6	Octagramspiral	Hilbertcurve
č. 7	Octagramspiral	Octagramspiral

4.8.1 Předběžný čas tisku

Software G3DMAKER po veškerém nastavení tiskárny a tiskových profilů začne generovat G-code. Po vygenerování G-codu se na obrazovce zobrazí přibližný čas tisku. Kromě času tisku modelu nám program také nabízí spotřebu materiálu.

Ze sedmi tištěných strategií dle předběžného času tisku by na tom měla být nejlépe kombinace Octagramspiral / Octagramspiral tedy model č. 7 s nejmenším časem 194,23 min. Nejdelší čas tisku lze předběžně očekávat od kombinace strategií Concentric / Concentric, model č. 5 s časem 198,1 min.

Se spotřebou materiálu je to naprosto stejné. Největší spotřebu materiálu má model č. 5 a nejmenší spotřebu materiálu model č. 7 (Obr. č. 31.).



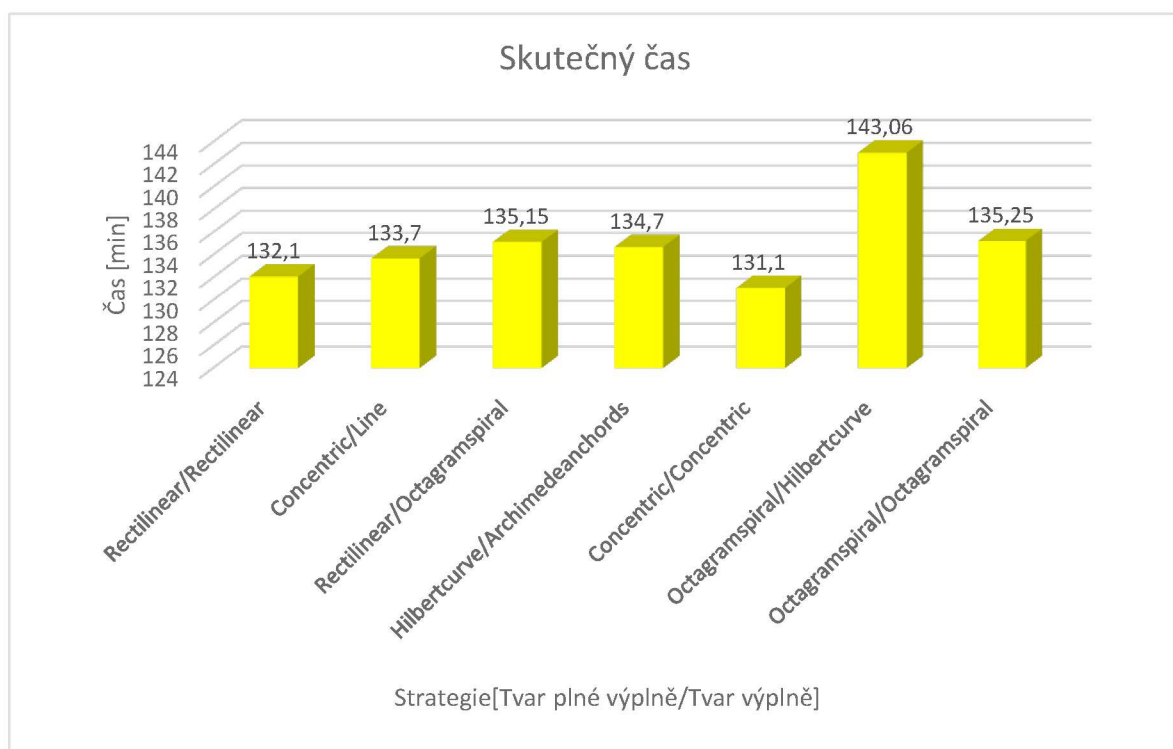
Obrázek č. 31 – Graf předběžného času a spotřeby materiálu

4.8.2 Skutečný čas tisku

Skutečný čas tisku je čas, který skutečně proběhne při vytištění jednoho stojanu na mobilní telefon. Tento čas se začíná měřit, když teplota extruderu odpovídá nastavené teplotě nanášeného základního materiálu PLA, což je 200°C, a extruder se pohne ze startovacího bodu, který se nachází v levém horním rohu tiskové plochy. Dle programu je to bod Home all, tedy nulový bod ve všech třech osách.

Tento čas se měřil pomocí stopky na mobilním telefonu. Kontrola tohoto času byla provedena s časem v záložce Job progress, kde je uveden čas startu tisku, tedy start time a čas po ukončení tisku.

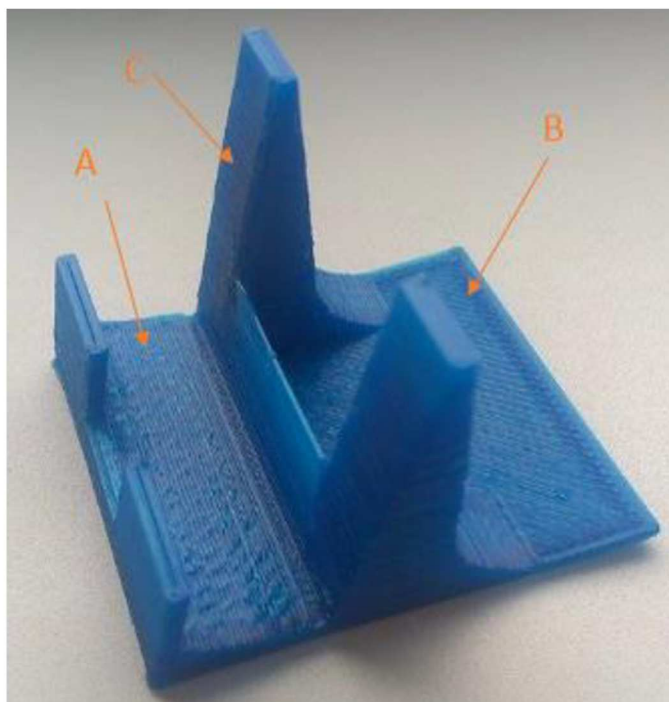
Jako nejpomalejší se ve skutečnosti ukázala kombinace Octagramspiral / Hilbertcurve použita u modelu č. 6 s časem 143,06 min. Nejlepší čas má naopak kombinace Concentric / Concentric u modelu č. 5 s časem 131,1 min, která se dle předběžného času jevila jako nejpomalejší strategie vůbec.



Obrázek č. 32 – Graf se skutečnými časy

4.9 Vizuální chyby na modelech

Model lze rozdělit na tři plochy s označením A, B a C, ve kterých vzniklo nejvíce vizuálních vad (Obr. č. 33.).

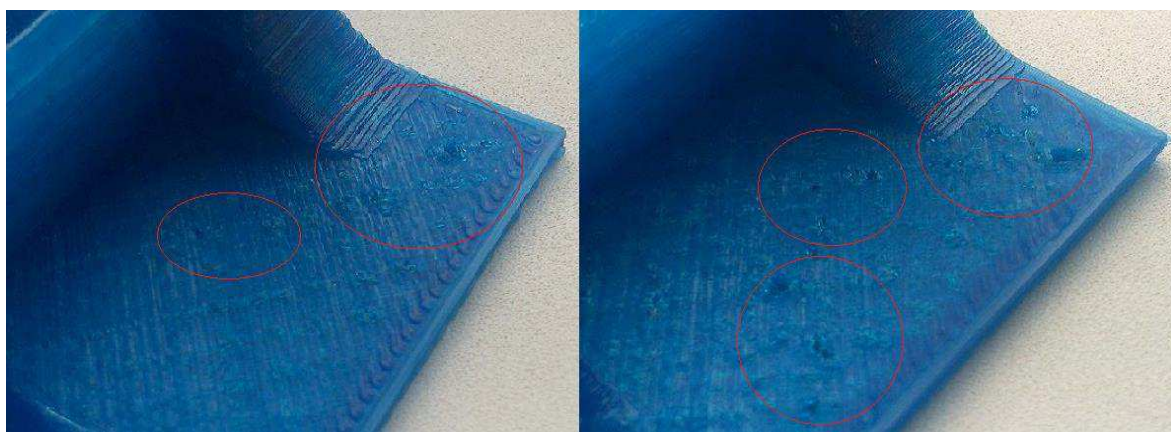


Obrázek č. 33 – Plochy v modelu

Při tloušťce vrstvy 0,125 mm je doporučeno 4 ÷ 6 plných vrstev na spodu a na vrcholech součástí. Plná vrstva znamená 100 % výplň. Což by mělo zabezpečit, aby koncové plochy byly bez vzniklých děr, které jsou vidět vizuálně. V tomto případě je nastaveno 5 plných vrstev.

4.9.1 Plocha B

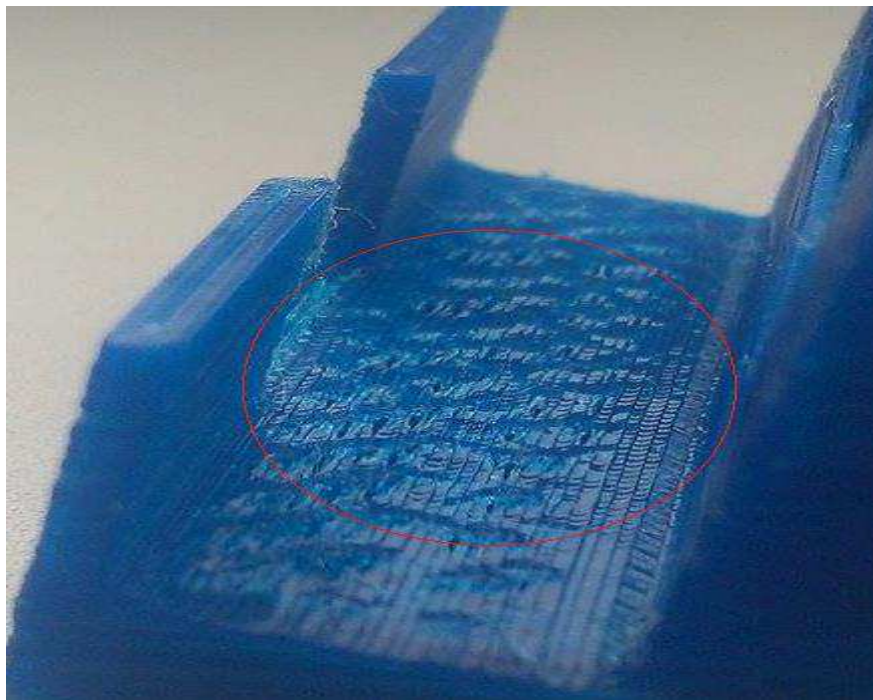
Na ploše B se u vzorků č. 2, č. 3 a č. 7 (Obr. č. 34.) tedy u strategií Concentric / Line, Rectilinear / Octagramspiral a Octagramspiral / Octagramspiral vytvořili v horní ploše díry. Díry by se daly odstranit tím, že by bylo nastaveno 6 plných vrstev, což je z rozmezí, které je doporučeno výrobcem. Znamenalo by to, ale zvýšení času na tisk a spotřeby materiálu. Nemuselo by to vzniklé díry odstranit.



Obrázek č. 34 – Díry v modelech č. 2 a č. 3

4.9.2 Plocha A

Plocha A, tedy šikmá plocha, která se každou následující vrstvou zužuje ve směru osy X. vytváří u modelu č. 2 a č. 3 díry. Tato nerovnost může být způsobena tím, že pracujeme s malou výplní modelu vzhledem k použití strategie (Obr. č. 35.).



Obrázek č. 35 – Díry v šikmé ploše model č. 3

4.9.3 Plocha C

Na ploše C se vytváří u všech modelů s vnitřní strany kuličky přebytečného materiálu (Obr. č. 36.). Také jsou viditelné za sebou jdoucí vrstvy. Při konečné úpravě by se daly tyto vady odstranit broušením smirkovým papírem popř. parami Acetonu.



Obrázek č. 36 – Přebytečný materiál

4.9.4 Vizuální chyby na modelech závěr

Závěrečné zhodnocení vizuálních vad je shrnuto v tabulce č. 2, ke každé z ploch A, B a C je přiřazeno „+“ je-li plocha bez větších vad popřípadě „-“, je-li plocha s vadami v podobě děr. Celkové hodnocení strategií z vizuálního hlediska je buď strategie vhodná, nebo nevhodná.

Tabulka č. 2 – Hodnocení vizuálních vad

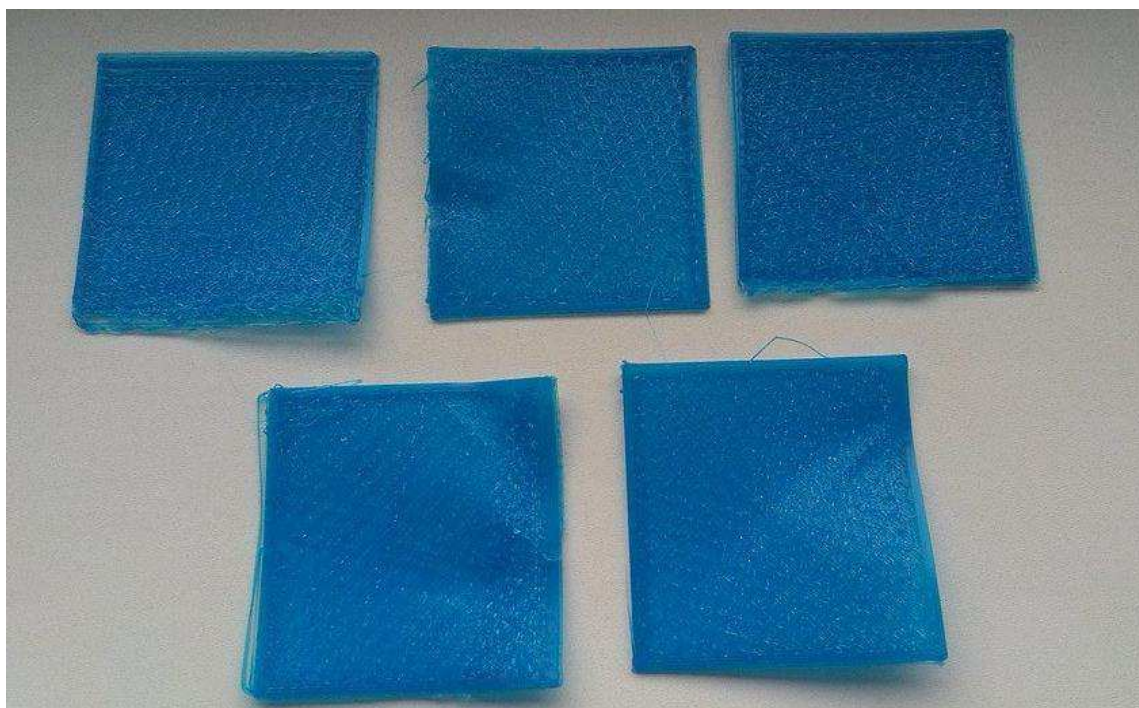
číslo modelu	Plocha A	Plocha B	Plocha C	Celkové hodnocení
č. 1	+	+	-	Vhodný
č. 2	-	-	-	Nevhodný
č. 3	-	-	-	Nevhodný
č. 4	+	+	-	Vhodný
č. 5	+	+	-	Vhodný
č. 6	+	+	-	Vhodný
č. 7	+	-	-	Nevhodný

Jako vhodný model bez vizuálních vad je model č. 1, 4, 5 a 6. Kombinace strategií, které obsahují vizuální vady a jsou nevhodné z důvodu velkého množství děr, jsou u modelu č. 2, 3 a 7.

4.10 Problém tvaru výplně Honeycomb

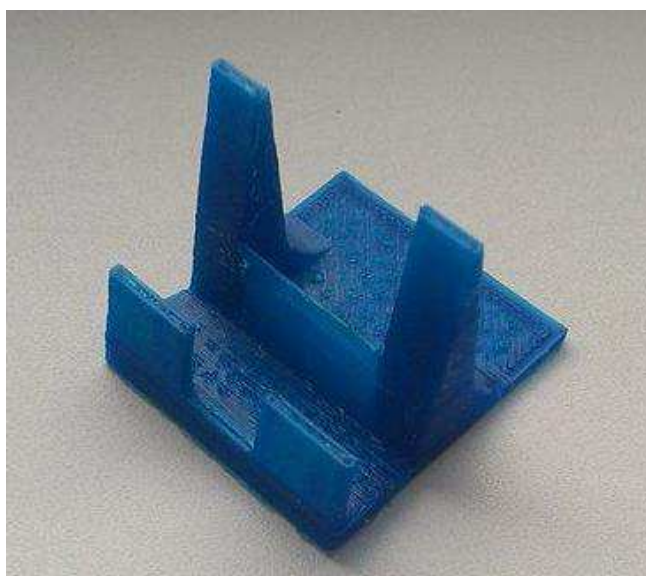
Při tisku všech zkušebních vzorků mělo být využito všech možností tvaru výplně. V programu G3DMAKER se jedná o sedm tvarů výplně Rectilinear, Line, Concentric, Archimedeananchors, Hilbertcurve, Octagramspiral a Honeycomb. Všechny tyto typy, až na jedinou výplň, byly využity u tištěných vzorků.

Problém nastal při tisku výplně Honeycomb, známa svým tvarem a překladem, jako pláštěv medu. Mohlo se jednat o jakoukoliv kombinaci pláštěv medu, která je možná s tvarem plné výplně. Tedy Rectilinear, Concentric, Hilbertcurve, Archimedeananchors a Octagramspiral. U těchto kombinací byl vygenerován G-code a po vygenerování byl poslán k tisku. Problém vždy nastal u vrstvy číslo 8/325. V této vrstvě se vždy posunula tištěná vrstva v ose Y směrem do plusu (Obr. č. 37.). Z důvodu, že bylo hned 5 z 5 výrobků nevyhovujících pro tisk v měřítku 1:1, opakované pokusy by znamenaly vysokou spotřebu materiálu.



Obrázek č. 37 – Vadné výrobky u výplně Honeycomb

Chyba vždy vznikla ve stejné vrstvě. Mohlo se jednat o geometrickou chybu v ploše této vrstvy v generování G-codu. Proto byl pokus o zmenšení této plochy měřítkem 0,8 a nové vygenerování G-codu. Následný tisk kombinace Concentric / Honeycomb se povedl na první pokus. Velikost stojanu je 40 x 38 x 33 mm. Předpokládaný čas 125 minut a skutečný 92 minut. Tento model je označen jako č. 8 (Obr. č. 38.). Není však součástí grafů s předběžnými a skutečnými časy z důvodu nesrovnatelného měřítka. Při této strategii vznikly viditelné vady v podobě děr na plochách A, B. Rovněž vznikl problém s přebytkem materiálu na vnitřní ploše C.



Obrázek č. 38 – Model s využitím výplně Honeycomb

5. Závěr

3D tisk je velmi inovativní a rychle se vyvíjející vývojový a výrobní proces. Tato technologie může být počátkem další velké změny v průmyslu. Spotřebitel si bude moci doma vymodelovat a vytisknout jakoukoliv poškozenou či chybějící součástku, aniž by musel hledat v obchodě, popřípadě v katalogu výrobce součásti, jestli se vůbec ještě vyrábí. Tuto součástku by si při postupně nižších cenách tiskáren mohl vyrobit doma. Velké uplatnění je také u výroby prototypu. To jsou důvody, proč je technologie 3D tisku tak zajímavá.

Tato bakalářská práce byla rozdělena do dvou částí. První část je teoretická, ve které jsou popsány často používané technologie 3D tisku a obecný postup výroby součásti. U technologií tisku je zmíněn princip, na jakém pracují. Velmi pozoruhodné je, že od doby, kdy byla patentována první technologie v roce 1986, vzniklo množství nových technologií, které používají velmi velkou škálu tiskařských materiálů s uplatněním od strojírenství, stavebnictví, designu až po medicínské účely.

V praktické části byla popsána tiskárna EASY3D MAKER, která využívá technologii FMD tedy extruzi plastu PLA a ABS. K tisku typové součásti, jakou je stojan na mobilní telefon, byl použitý materiál PLA. Dále jsem se seznámil s programem G3D MAKER, ve kterém se nastavuje tiskárna a tiskové profily. V tiskových profilech byly popsány všechny dostupné výplně. Pro tisk součásti byly nastaveny shodné podmínky, změna byla vždy pouze u nastavení výplně a plné výplně tisku.

Bakalářská práce je zaměřena na neoptimálnější variantu, hlavně z hlediska času tisku a vizuálního vzhledu. Po vytištění modelu jsem porovnal předběžné a skutečné časy. Zjistil jsem, že skutečný čas je odlišný od předběžného času. Předběžný čas je v porovnání se skutečným časem asi o 60 minut kratší u všech tištěných modelů. Po očištění a vizuálním porovnání modelu je patrné, že u některých modelů při 30% výplni a pěti plných vrstvách vznikají díry v plochách. Problém by mohl být vyřešen větším procentem výplně nebo počtu plných vrstev samozřejmě na úkor času a spotřeby materiálu.

Při tisku sedmi zkušebních vzorků s rozdílnými kombinacemi výplně a plné výplně. U součásti stojanu na mobilní telefon, která slouží pouze pro dekoraci a jako pomůcka pro ustavení mobilního telefonu na stole.

Čas tisku je nejkratší u modelu č. 5, který je 131,1 minut, což je strategie Concentric / Concentric a vzhled nevykazuje viditelné vady v podobě děr. Po povrchové úpravě by neměl vzorek žádné vady. Jediným problémem u modelu č. 5 je použití malého množství 3D lepidla

na tiskovou plochu, tím vznikl problém u odlepení prvních vrstev v pravém rohu na spodní části modelu, což při pohledu shora není patrné a nemá to vliv ani na stabilitu stojanu na stole. Považuji tuto strategii za neoptimálnější. Za vhodné vzhledem k vizuálním vlastnostem považuji modely č. 1, 4, 5 a 6.

S pohledu času má nejdelší čas tisku model č. 6 s časem 143,06 minut. Vizuálně po vybroušení by vykazovaly stále vady v podobě děr vzorky č. 2 a č. 3 a č. 7 na plochách A a B.

Vzhledem k ceně tiskárny je při správném nastavení vytištěný výrobek docela kvalitní. Velmi zajímavé by bylo zjistit skutečnou spotřebu materiálu a mechanické vlastnosti u určitých druhů strategií. Toto bylo však nad rámec této práce a mohlo by to být řešeno v diplomové práci.

Osobně při tvoření této bakalářské práce jsem si osvojil technologii FMD a tiskárnu EASY3DMAKER společně s dodávaným programem G3DMAKER. 3D tisk mě velmi zaujal. Do budoucna bych se chtěl v této problematice dále rozvíjet.

Seznam použité literatury

- [1] *3D tisk* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/3d-tisk/>
- [2] CHLEBO, Martin. *Počátek 3D tisku* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/09/pocatek-3d-tisku/>
- [3] *3D tisk na zakázku: Historie a současnost 3D tisku* [online]. [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: <http://www.3dtisknazakazku.cz/9-clanky/15-historie-a-soucasnost-3d-tisku.html>
- [4] *Additive Fabrication: Process Cycle* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>
- [5] WINSTON, Amy. *Jak jsem stavěla 3D tiskárnu* [online]. 2014 [cit. 2015-11-23]. ISSN 1212-8309. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/jak-jsem-stavela-3d-tiskarnu-konstrukce-ramu/>
- [6] *Technologie 3D tisku* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>
- [7] *O 3D tisku* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.3dwiser.com/o-3d-tisku/>
- [8] PALERMO, Elizabeth. *Fused Deposition Modeling* [online]. 2013 [cit. 2015-12-5]. Dostupné z: <http://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>
- [9] *Fused Deposition Modeling* [online]. [cit. 2015-12-5]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>
- [10] *Fused Deposition Modeling (FDM)* [online]. [cit. 2015-12-5]. Dostupné z: <http://www.popular3dprinters.com/fused-deposition-modeling-fdm/>
- [11] *Laminated Object Manufacturing (LOM)* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
- [12] LOM: Laminated Object Manufacturing 3D printing services [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.3dprinterpro.com/laminated-object-manufacturing-service/>
- [13] PALERMO, Elizabeth. *Laminated object manufacturing* [online]. 2013 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html>
- [14] CHLEBO, Martin. *Technologie 3D tisku: LOM : Laminated Object Manufacturing* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/technologie-3d-tisku-i/>

- [15] PALERMO, Elizabeth. *Selective Laser Sintering* [online]. 2013 [cit. 2016-01-5]. Dostupné z: <http://www.livescience.com/38862-selective-laser-sintering.html>
- [16] Aplikace technologií Rapid Prototyping: SLS. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001,10[cit.2016-01-5]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-technologie-rapid-prototyping.html>
- [17] *Selective Laser Sintering* [online]. 2012 [cit. 2016-01-5]. Dostupné z: <http://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry>
- [18] ZLOCH, Marek. *Vše o 3D tisku* [online]. 2014 [cit. 2016-01-5]. Dostupné z: <http://www.marekzloch.cz/book/vse-o-3d-tisku-technologie.pdf>
- [19] *3D Printers and 3D Printing: Technologies, Processes and Techniques: SLS Technology* [online]. [cit. 2016-01-5]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-printing/3d-printing-technologies/>
- [20] *Stereolithography* [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>
- [21] *SLA - Stereolitography* [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologiich-3d-tisku/>
- [22] *About 3D Systems* [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/about-us>
- [23] *History of 3D Printing* [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.robots-and-androids.com/history-of-3d-printing.html>
- [24] *STEREOLITHOGRAPHY: SLA Prototyping – How it works* [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: http://crdm.co.uk/services/technical_stereolithography/
- [25] *Stereolithography (SLA)* [online]. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/stereolithography-sla>
- [26] *Electron Beam Melting (EBM)* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <https://www.additively.com/en/learn-about/electron-beam-melting#read-chain>
- [27] *Electron Beam Melting* [online]. 2010 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://web.aldevt.de/cms/vakuum-technologie/anlagen/electron-beam-melting-eb/>
- [28] *Electron Beam Melting (EBM)* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.imaginetthat-3d.com/?p=1#!electron-beam-melting-ebm-/c714>
- [29] *EBM* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.crpmeccanica.com/ebm-electron-beam-melting/>

- [30] *3D Printing Materials* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/materials/>
- [31] *PLA* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.tisknulevne3d.cz/tiskove-struny-filamenty/pla-filamenty/makerbot-tiskova-struna-pla-true-zluta-1-75-mm-0-9-kg>
- [32] *PLA* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.easycnc.cz/inpage/pla/>
- [33] *PLA* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/pla/>
- [34] *MATERIÁLY TISKU: Běžně používané materiály* [online]. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://3dtisk1.webnode.cz/material-tisku/>
- [35] *Obrázek: Struna ABS* [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://www.3dwiser.com/soubory/2015/07/55010-No-Packaging-Angled.jpg>
- [36] *The Difference Between ABS and PLA for 3D Printing* [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://www.protoparadigm.com/news-updates/the-difference-between-abs-and-pla-for-3d-printing/>
- [37] LIEVENDAG, Nick. *ABS* [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://nicklievendag.com/filament-guide/>
- [38] *3D Printing Materials: ABS* [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <https://i.materialise.com/3d-printing-materials/abs>
- [39] *ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)* [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://3dprintingforbeginners.com/filamentprimer-2/>
- [40] *Schéma MJM* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/hardware/78-hardware/1559-rapid-prototyping-to-je-3d-systems.html>
- [41] *MultiJet – Modeling (MJM)* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://3d-labs.de/mjm/?lang=en>
- [42] CHUA, Chee Kai. *Rapid prototyping: principles and applications* [online]. 3rd ed. New Jersey: World Scientific, c2010 [cit. 2016-03-15]. ISBN 978-981-277-897-0. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=4OYcyIDUpsQC&pg=PA165&lpg=PA165&dq=first+multi+jet+modeling&source=bl&ots=yOQISovMDG&sig=jDZwpKpwLX1ALxHGxBseMBBIIfU&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwj16t-ZzdVLAhXsPZoKHVkBDOYQ6AEINDAD#v=onepage&q=first%20multi%20jet%20modeling&f=false>

- [43] WOLF, Jack. *Stereolithography (SLA) vs Multi-Jet Modeling (MJM)* [online]. In: . 2014 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.mastergraphics.com/imagingsolutions/stereolithography-sla-vs-multi-jet-modeling-mjm-2/>
- [44] Multi Jet Modeling. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/Multi_Jet_Modeling
- [45] Multi JET Modelling. *Hyperlink* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/main11.html>
- [46] *3D Printing a 3D Honeycomb Infill concept*. [online]. In: . 2015 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://engineerdog.com/2015/03/08/3d-printing-a-3d-honeycomb-infill-concept/>
- [47] *Infill Patterns and Density* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://manual.slic3r.org/expert-mode/infill>
- [48] *Infill Honeycomb* [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://manual.slic3r.org/expert-mode/images/infill_honeycomb.png
- [49] BRUBAKER, Lars. *MATTERCONTROL DELIVERS OPTIMIZED HEXAGON INFILL* [online]. In: . 2015 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <https://www.matterhackers.com/news/mattercontrol-delivers-optimized-hexagon-infill>
- [50] *Infill* [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://manual.slic3r.org/expert-mode/images/infills.png>
- [51] *Hilbert Curves* [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://datagenetics.com/blog/march22013/index.html>
- [52] EVANS, Brian. *Practical 3D printers: The Science and Art of 3D Printing* [online]. New York: Distributed to the book trade world wide by Springer Science Business Media, 2012, s. 55-61 [cit. 2016-03-25]. Technology in action. ISBN 1430243929. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=FPSsCTE9KpgC&pg=PA60&lpg=PA60&dq=rectilinear+infill&source=bl&ots=bgAOhyWrod&sig=82yVXOc-Bdmt0sQdLovb0bA-ds&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwjA09-6h-PLAhWkIJJoKHe2GD1s4ChDoAQheMAc#v=onepage&q=rectilinear%20infill&f=false>

- [53] *EASY3DMAKER: Easy to use 3D printer* [online]. [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://www.copymania.cz/get.php?id=6795>
- [54] KASÍK, Pavel. *Trojrozměrný tisk pro každého. Plastové fantazii se meze nekladou* [online]. In: . 2012 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/3d-tiskarny-c8k-/tec_technika.aspx?c=A121113_170743_tec_technika_pka
- [55] *Uživatelský manuál typ: EASY3DMAKER* [online]. 2013 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: http://eshop.svet-3d-tisku.cz/user/upload/návody%20pro%203Dfactories/Uživatelská%20příručka%20Easy-%20verze_7_2013.pdf
- [56] *EASY3DMAKER - 3D Tiskárna pro všechny* [online]. [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://www.inteo.cz/easy3dmaker-3d-tiskarna-pro-vsechny/>
- [57] CARMICHAEL DE KLERK, James. *Universal Phone and Tablet Stand* [online]. In: . 2014 [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.thingiverse.com/thing:615588>

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – Schématické zobrazení Fused Deposition Modeling [10].....	11
Obrázek č. 2 – Schematické zobrazení Laminated Object Manufacturing [11].....	12
Obrázek č. 3 – Schematické zobrazení Selective Laser Sintering [15].....	13
Obrázek č. 4 – Schematické zobrazení technologie Stereolithography [20].....	15
Obrázek č. 5 – Schematické zobrazení technologie Electron Beam Melting [26].....	16
Obrázek č. 6 – Schematické zobrazení technologie MultiJet Modeling [40].....	17
Obrázek č. 7 – Tiskové strategie[46].....	19
Obrázek č. 8 – Honeycomb strategie[48].....	20
Obrázek č. 9 – Strategie Concentric, výplň 20,40,60 a 80% [50].....	20
Obrázek č. 10 – Strategie Line, výplň 20,40,60 a 80% [50].....	21
Obrázek č. 11 – Hilbertovy čtverce 2 x 2 a 4 x 4 [51].....	21
Obrázek č. 12 – Strategie Hilbert Curve, výplň 20,40,60 a 80% [50].....	22
Obrázek č. 13 – Strategie Octagram Spiral, výplň 20,40,60 a 80% [50].....	22
Obrázek č. 14 – Rectilinear strategie [48].....	23
Obrázek č. 15 – Archimedean Chords strategie [48].....	23
Obrázek č. 16 – Tiskárna EASY3DMAKER [55].....	24
Obrázek č. 17 – Popis tiskárny EASY3DMAKER [55].....	25
Obrázek č. 18 – Tiskové struny z PLA [31].....	27
Obrázek č. 19 – Tisková struna z ABS černá [35].....	28
Obrázek č. 20 – Universální stojan na mobilní telefon.....	29
Obrázek č. 21 – Úvodní okno programu.....	30
Obrázek č. 22 – Nástrojová lišta[55].....	31
Obrázek č. 23 – Panel nastavení programu[55].....	32
Obrázek č. 24 – 3D lepidlo a špachtle[55].....	33
Obrázek č. 25 – Postup kalibrace tiskové plochy[55].....	33
Obrázek č. 26 – Vadné posunuté vrstvy v modelu.....	34
Obrázek č. 27 – Nastavení tiskárny.....	35
Obrázek č. 28 – Tiskové profily.....	36
Obrázek č. 29 – Dokončené generování a trasování.....	37
Obrázek č. 30 – Vytisknuté modely.....	38
Obrázek č. 31 – Graf předběžného času a spotřeby materiálu.....	39
Obrázek č. 32 – Graf se skutečnými časy.....	40
Obrázek č. 33 – Plochy v modelu.....	40

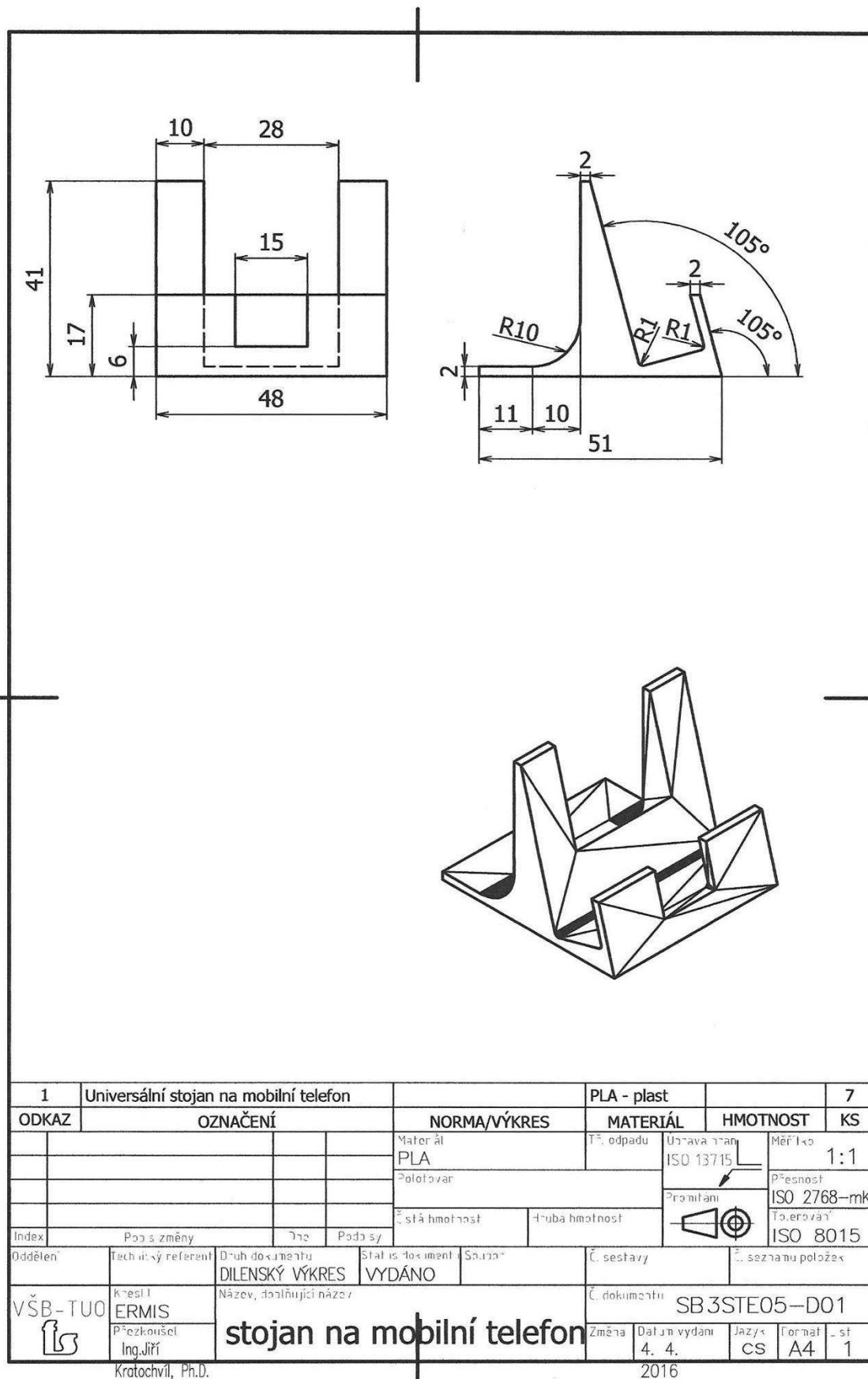
Obrázek č. 34 – Díry v modelech č. 2 a č. 3.....	41
Obrázek č. 35 – Díry v šikmé ploše model č. 3.....	42
Obrázek č. 36 – Přebytečný materiál.....	42
Obrázek č. 37 – Vadné výrobky u výplně Honeycomb.....	44
Obrázek č. 38 – Model s využitím výplně Honeycomb.....	44
Tabulka č. 1 – Výplně modelu.....	38
Tabulka č. 2 – Hodnocení vizuálních vad.....	43

Seznam příloh

Příloha A – Výkres stojanu na mobilní telefon

Příloha B – G-cody v elektronické příloze

Příloha A – Výkres stojanu na mobilní telefon



Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za jeho cenné rady, připomínky a odbornou pomoc při tvorbě bakalářské práce. Děkuji také své rodině, za podporu během studia na vysoké škole.